Aus der medizinischen Poliklinik in Tübingen.
Vorstand: Prof. Dr. Otfried Müller.

ZUR TOPOGRAPHIE DES MENSCHLICHEN PULSES.

INAUGURALDISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

IN DER

MEDIZIN, CHIRURGIE UND GEBURTSHILFE

UNTER DEM PRÄSIDIUM

VON

PROF. Dr. E. VON ROMBERG

O. Ö. PROFESSOR DER MEDIZIN, VORSTAND DER MEDIZINISCHEN KLINIK AN DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN

EINER HOHEN MEDIZIN. FAKULTÄT IN TÜBINGEN

VORGELEGT VON

EUGEN WEISS

AUS SCHWÄB. GMÜND.

LEIPZIG,
VERLAG VON F. C. W. VOGEL
1912.

Aus der medizinischen Poliklinik in Tübingen.
Vorstand: Prof. Dr. Otfried Müller.

ZUR TOPOGRAPHIE DES MENSCHLICHEN PULSES.

INAUGURALDISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

IN DER

MEDIZIN, CHIRURGIE UND GEBURTSHILFE

UNTER DEM PRÄSIDIUM

VON

PROF. Dr. E. VON ROMBERG

O. Ö. PROFESSOR DER MEDIZIN, VORSTAND DER MEDIZINISCHEN KLINIK AN DER UNIVERSITÄT TÜBINGEN.

EINER HOHEN MEDIZIN. FAKULTÄT IN TÜBINGEN

VORGELEGT VON

EUGEN WEISS
AUS SCHWÄB. GMÜND.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

LEIPZIG,
VERLAG VON F. C. W. VOGEL
1912.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der
Universität Tübingen
Juli 1911

Referent: Professor Dr. von Romberg.

Meinen lieben Eltern.

Lebenslauf.

Ich, Eugen Friedrich Weiß, aus Schwäbisch-Gmünd bin daselbst am 17. Juni 1886 geboren als Sohn des dortigen Oberamtswundarztes Sanitätsrat Dr. med. Karl Weiß. Von Ostern 1893 bis Herbst 1894 besuchte ich die evangelische Volksschule daselbst, trat dann in die Elementarklasse des damaligen Reallyceums ein, erwarb im Herbst 1902 die Berechtigung zum einjährig-freiwilligen Militärdienst und bestand an der inzwischen zum Realgymnasium gewordenen Anstalt im Juli 1905 die Reifeprüfung. Im Herbst desselben Jahres bezog ich die Universität Tübingen, um mich dem Studium der Medizin zu widmen. Im Frühjahr 1908 wurde ich nach bestandener ärztlicher Vorprüfung Assistent des pathologisch-anatomischen Institut zu Tübingen, um dann vom Herbst 1908 bis Frühjahr 1909 die Universität Freiburg i. Br. aufzusuchen. Vom Frühjahr 1909 bis Sommer 1910 studierte ich wieder in Tübingen, bestand daselbst im Dezember desselben Jahres die ärztliche Staatsprüfung und trat am 1. Januar 1911 als Medizinalpraktikant und Assistent in die medizinische Poliklinik Tübingen ein.

Nachdem O. Frank (1) von der Berechnung und Konstruktion genauer Tonographen für den Tierversuch zur Herstellung eines Spiegelsphygmographen von hoher Schwingungszahl und großer Empfindlichkeit übergegangen war, der eine genaue Registrierung des menschlichen Pulses erlaubte, stellte sich erst heraus, wie notwendig eine eingehende Neubearbeitung auch des menschlichen Sphygmogrammes geworden war. „Ich bin", so meint er, „im Laufe meiner Untersuchung auch sehr mißtrauisch gegen die in der Literatur veröffentlichten Registrierungen des Pulses des Menschen geworden." „Es sind viel zu wenig sichere Beobachtungen sowohl des zentralen, als des peripheren Pulses vorhanden." Will man an der Stelle, wo Frank nach Legung der Grundzüge aufgehört hat, in einer Weise weiter arbeiten, die Früchte für klinische Untersuchungen tragen soll, so kann das nach zwei Richtungen hin geschehen. Einmal kann man die „örtlichen Verschiedenheiten" des normalen menschlichen Pulses, wie v. Frey (2) die Vorgänge genannt hat, welche sich bei der Ausbreitung einer und derselben Systole vom Zentrum nach der Peripherie abspielen, genauer studieren, als das bisher geschehen ist. Diese Aufgabe habe ich mir für die vorliegenden Untersuchungen gewählt. Sie wird durch entsprechende Beobachtungen über den Strompuls, der sich jetzt ebenfalls nach Frank (3) leichter und vollkommener registrieren läßt als früher, zu ergänzen sein. Zweitens aber kann man die „zeitlichen Verschiedenheiten" des Druck- resp. Strompulses, wie sie durch Änderung der Herz- resp. Gefäßtätigkeit in gesunden und kranken Tagen eintreten, betrachten. Das ist in der Tübinger Klinik neuerdings durch E. Veiel (4) in ausgedehnter Weise geschehen. Die erste Untersuchungsreihe wird vorzugsweise physiologische Ergebnisse zeitigen, auf denen sich sodann weitere klinische Arbeitsmethoden aufbauen können; die zweite wird geeignet sein, direkte klinische Aufschlüsse zu ergeben.

Eingehendere topographische Untersuchungen des Pulses hat v. Frey schon gefordert. Am Schlusse des Abschnittes über die örtlichen Verschiedenheiten des Arterienpulses heißt es in seinem bekannten Buche: „Man sieht, daß die Erklärung einer Pulskurve durchaus nicht als eine einfache Sache betrachtet werden darf, und daß die Benennung einzelner Gipfel, wenn sie mehr sein soll als eine auf Übereinkommen ruhende Einteilung der geometrischen Figur der Erkenntnis eher schadet als nützt. Das, was hier Not tut, ist eine eingehende Topographie des Pulses, d. h. die Feststellung der normalen Pulsform für möglichst viele Orte des Körpers und Versuche darüber, wie die Formen sich ändern, wenn gewisse Arteriengebiete verschlossen oder in ihrem Tonus verändert werden. Auf diesem Wege müßte sich unzweifelhaft ein volles Verständnis des Pulses erzielen lassen.“ Dabei stellt von Frey an solche von ihm postulierten topographischen Untersuchungen hohe Anforderungen, wenn er weiter ausführt: „Da der Puls an ein und derselben Stelle des menschlichen oder tierischen Körpers zu verschiedenen Zeiten die größten Unterschiede zeigt, so sind zu einer Topographie des Pulses nur Untersuchungen verwertbar, welche unter möglichst gleichen Bedingungen am besten gleichzeitig an den zu vergleichenden Körperstellen angestellt werden.“

Diesen Anforderungen kann man jetzt vollauf gerecht werden. Es ist mit dem Frank'schen Spiegelsphygmographen nicht nur möglich, den Puls an jeder Stelle des Körpers unentstellt aufzunehmen, wo eine Arterie der Oberfläche nahe liegt, sondern man ist auch imstande, den gleichen Pulsschlag an drei verschiedenen Orten mit ganz gleichen Instrumenten völlig gleichzeitig darzustellen, so daß man ein Bild der natürlichen Entwicklung des Druckablaufes von der Aorta bis in die Fingerspitzen erhalten kann. Trotz aller Fortschritte der Technik bleiben aber derartige Untersuchungen noch immer mühevoll und subtil. Es ist nicht leicht, die drei Kurven ungestört übereinander auf den Film zu bringen. Besonders aber muß man der Warnung Frank's folgen, sich nicht durch Eigenbewegungen des untersuchten Körpers (namentlich der Extremitäten), sowie durch Zitterungen infolge von Erschütterung der Umgebung täuschen zu lassen. Man darf deshalb immer nur solche Kurven berücksichtigen, in denen eine größere Anzahl aufeinander folgender Pulse die gleichen Details aufweist. Das ist bei unseren Untersuchungen streng beachtet worden, doch konnten natürlich immer nur einzelne Pulsbilder und nicht ganze Serien zur Abbildung gebracht werden.

Man vermeidet Zitterbewegungen am sichersten, wenn man die Versuchspersonen auf eine bequeme Unterlage hinliegen läßt. Für die Aufnahme des Aortenpulses ist die liegende Stellung sowieso nötig, und da sich zwischen liegender und sitzender resp. stehender Stellung gewisse, wenn auch nicht sehr bedeutsame Unterschiede im Pulsbilde ergeben, so war es auch von dem Gesichtspunkte einheitlicher Versuchsbedingungen aus wünschenswert, alle Aufnahmen im Liegen vorzunehmen. Als Versuchspersonen wurden ausnahmslos gesunde junge Leute unter 30 Jahren mit völlig normalem Herz- und Gefäßsystem verwendet. Ältere Leute mit rigiden Gefäßen geben bekanntlich abnorme Pulsbilder.

Da durch die Frank'schen Untersuchungen in weit höherem Maße, als früher bekannt war, ein tief greifender Unterschied zwischen dem sog. „zentralen" Pulse der Aorta und dem „peripheren" anderer Arterien aufgezeigt worden ist, und da der Aortenpuls sich als die Ur- und Grundform herausgestellt hat, aus der die übrigen Pulse sich entwickeln und ableiten lassen, so beginne auch ich mit der Untersuchung des menschlichen Aortenpulses.

Aortenpulse.

Sphygmographische Aufnahmen der Bauchaorta lassen sich bei enteroptotischen Frauen leicht bewerkstelligen. Wir haben dazu aus dem poliklinischen Krankenmaterial Frauen ausgesucht, die das 30. Lebensjahr noch nicht überschritten hatten, ein völlig normales Herz und unveränderte Gefäße aufwiesen, durch mehrere rasch aufeinanderfolgende Geburten enteroptotisch geworden waren und nun meist mit Klagen über Obstipation in die Ambulanz kamen. Besteht bei solchen Frauen zugleich eine Gastroptose und eine Diastase der Recti, so kann man die Aorta häufig so deutlich fühlen, daß es durch die dünnen Bauchdecken hindurch gelingt, sie zwischen Daumen und Zeigefinger zu fassen.

Die Aufnahme erfolgte in liegender Stellung. Eine der zum Frank'schen Apparat gehörigen, zur Aufnahme der Herztöne bestimmten, tambourähnlichen, mit Gummi bezogenen Blechkapseln wurde dergestalt auf einen großen in der Mitte durchbohrten Kork gesteckt, daß die aufnehmende Gummimembran vom Kork abgekehrt war, während das zur Schlauchverbindung führende Rohr durch das Loch des Korkes hindurchreichte. Ehe der zum Sphygmographen leitende Schlauch von vorgeschriebener Länge an das Ansatzrohr des Tambours gesteckt wurde, war ein langer, für den

Durchtritt des Tambourrohres in der Mitte durchlochter Streif von breitem Heftpflaster über die vom Tambour abgewandte Seite des Korkes gelegt. Nunmehr wurde der Schlauch an den Tambour gesteckt, dieser mit der Gummimembran auf die Aorta gesetzt, wo ihre Pulsation oberhalb der kleinen Kurvatur des tiefstehenden Magens am deutlichsten fühlbar war, und der Heftpflasterstreifen straff angezogen beiderseits an den Seitenteilen des Bauches angeklebt. Der zwischen Heftpflaster und Tambour eingeschaltete je nach Bedarf dick gewählte Kork sorgte dafür, daß die aufnehmende Gummimembran tief und gleichmäßig eingedrückt und der Aorta angepreßt wurde. Durch festeres oder loseres Anziehen des Heftpflasterstreifens konnte die Größe der vom Spiegel verzeichneten Pulse reguliert werden. Während der Aufnahme hatte man dafür zu sorgen, daß die Versuchsperson gleichmäßig und nicht allzutief atmete, da sonst die Atemschwankungen der verzeichneten Kurve leicht bis außerhalb des Films reichten.

Die Befestigung der Pulsrezeptoren mit Heftpflaster, ev. unter Verwendung eines in die Tiefe drückenden Korkes hat sich mir an den verschiedensten Körperstellen weitaus am besten bewährt. Erstens ist sie einfach und beansprucht keinen langen Zeitraum zu ihrer Adaptierung. Zweitens drückt sie die Versuchsperson nicht, so daß diese lange Zeit mit dem kleinen Verbande still liegen kann. Drittens kann es nicht leicht zu Zitterungen der Kurve kommen, wie man sie sowohl beim Anhalten der Rezeptoren mit der Hand, als auch beim Andrücken mit Stützapparaten immer wieder sieht. Die eisernen Arme, mit denen man von Stativen aus die Rezeptoren auf die gewünschte Stelle preßt, geraten bei den leisesten Bewegungen des Gebäudes in Schwingungen und bringen dann Kunstprodukte in die Kurven.

Aortenaufnahmen von anderen Stellen als zwischen Processus xiphoideus und Nabel lassen wir hier einstweilen außer Betracht. Die Aufnahmen, die man bei Aneurysmen an der Brustwand, oder bei Elongationen der Aorta im Jugulum vom Aortenbogen direkt machen kann, stammen von einem kranken Kreislauf und können zur Lehre von der normalen Pulsform der Aorta nichts beitragen. Aufnahmen vom Ösophagus aus sind uns bisher nicht in befriedigender Weise geglückt. Eine Fissura Sterni konnten wir nicht bekommen.

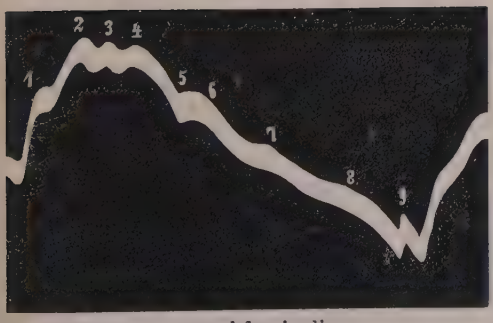
Trotzdem unsere Aufnahmen von der Aorta abdominalis gemacht sind, stimmen sie, wie die Bilder 1, 2 und 3 zeigen, doch mit den aus dem Aortenbogen des Hundes gewonnenen Kurven

Kurve 1.

Kurve 3.

Aorta abdominalis.

Kurve 2.



Aorta abdominalis.

Otto Frank's prinzipiell überein. In der scharfen Ausprägung der einzelnen Details stehen freilich, wie sich weiter unten zeigen wird, die Druckkurven von der menschlichen Subclavia und Carotis der von Frank aufgestellten Grundform noch näher, weil eben die räumliche Entfernung von den Aortenklappen bei diesen Gefäßen eine geringere ist, als bei der Bauchaorta. Immerhin kann man aber die prinzipielle Gliederung unserer Bauchaortenkurven mit den von Frank für die Aortenbogenkurven des Hundes bestimmten Worten beschreiben. Frank setzt zunächst auseinander, daß im aufsteigenden Schenkel des Aortenpulses in der Regel eine bis zu 0,2 Sekunden dauernde Schwingung, die sog. Anfangsschwingung, auftritt. Unsere Bilder 1—3 lassen diese Anfangsschwingung (sie ist in der Kurve mit der Zahl 1 versehen) mehr oder weniger deutlich erkennen. Sie zeigen auch Andeutungen der verschiedenen Typen dieser Schwingung, von denen Frank schreibt: „Bis zu der Stelle, wo sie (die Anfangsschwingung) erscheint, ist der Druckanstieg außerordentlich rasch, um von da ab wieder langsamer vor sich zu gehen (siehe die Andeutung der Anfangsschwingung in Gestalt des langsamer werdenden Kurvenanstieges bei der Zahl 1 in Bild 3, die mit der Zahl 2 bezeichnete Zacke, die man leicht für die Anfangsschwingung halten könnte, entspricht hier nach genauer Ausmessung der Kurve dem systolischen Hauptschlag). Es kann dabei zu einem wirklichen Maximum und auch zu einem Minimum kommen, so daß eine deutlich ausgeprägte Schwingung oder Zacke auftritt (siehe Bild 2 bei der Zahl 1, und vor allem Bild 1, dessen obere Kurve der Bauchaorta, dessen untere der gleichzeitig aufgenommenen linken Subclavia entspricht; die Aortenkurve hat nur eine mäßig stark angedeutete Anfangsschwingung, die Subclavia hat eine solche mit starkem Maximum und Minimum). Aber an dieser Stelle kann auch die Schnelligkeit des Hauptkurvenanstieges, auf den die Schwingung gewissermaßen aufgesetzt erscheint, so stark überwiegen, daß sie die Bildung eines eigentlichen Maximums oder eines Minimums verhindert“ (siehe unser Bild 1 in der oberen Kurve und unser Bild 3 mit der noch eben bemerkbaren Verlangsamung des Kurvenanstieges kurz vor dem systolischen Hauptschlag).

Diese Anfangsschwingung ist nach Frank durch Eigenschwingung des Gefäßsystems hervorgerufen. Wie ein elastisches Manometer in Eigenschwingungen gerät, wenn man es plötzlichen Druckschwankungen aussetzt, so auch die mit Flüssigkeit gefüllte, von elastischer Wand begrenzte Aorta. Reflexionen sollen bei ihrer

Entstehung nicht in Betracht kommen. „Vor allem“, schreibt Frank, „ist das eine zu beobachten, daß die Eigenschwingung um so ausgeprägter wird, um so eher sich ein wirkliches Maximum und Minimum der Schwingungen ausbildet, je rascher und steiler der Hauptanstieg der Kurve erfolgt (siehe die große Eigenschwingung in der unteren der Subclavia entstammenden Kurve von Bild 1), also gerade unter denselben Umständen, unter denen sich eine jede Schwingung eines elastischen Systems am besten ausbildet.“ Schließlich sei noch hervorgehoben, daß Frank die Anfangsschwingung bei Tieren um so ausgeprägter fand, je größer das Tier war, und daß er sie deshalb beim Menschen als im allgemeinen stark hervortretend postuliert, was im großen und ganzen stimmt, jedoch mit der Einschränkung, daß man sie, wie weitere Kurven zeigen werden, doch auch nicht selten vermißt. In Kurven, die Marey(5) von der Aorta des Pferdes aufgenommen hat, findet sich die Anfangsschwingung trotz der mangelhaften Instrumente ebenfalls schon angedeutet.

Der menschliche Aortenpuls hat also in vielen Fällen geradeso wie der des Hundes eine durch Eigenschwingung der Blutmasse hervorgerufene Anfangsschwingung, doch kann diese gelegentlich auch fehlen oder nur ganz schwach angedeutet sein.

Wir wenden uns zu dem auf die Anfangsschwingung folgenden systolischen Hauptteil der Kurven und vergleichen unsere Bilder 1—3, namentlich aber Bild 1 und 2 mit folgenden für die Aorta des Hundes bestimmten Worten Frank's: „Der systolische Hauptteil steigt entweder — und dies bei hohem mittlerem Druck in der Aorta — fast die ganze Systole stetig an, oder sinkt, nachdem er sein Maximum erreicht hat, langsam ab, bis zu einer Stelle, wo dies Absinken rapid beschleunigt wird. Hier erfolgt die Druckabnahme weit schneller, als in dem übrigen diastolischen Teil der Kurve. Im allgemeinen erscheint die Stelle, wo dies eintritt, schon ohne nähere Ausmessung als ein Knick in der Kurve.“ In diesem systolischen Hauptteile der Kurven fand nun Frank beim Hunde deutliche Anzeichen reflektierter Wellen, die auch in unseren Bildern 1—3 zum Ausdruck kommen. Es handelt sich dabei entsprechend dem Schema, das Frank(1) auf Seite 504 seiner Arbeit über den Puls in den Arterien gegeben hat, im wesentlichen um 3 kleine Einbuchtungen mit zwei dazwischen liegenden kleinen Wellenbergen, die sich um den Gipfel der Kurven gruppieren. Sie

sind, wie ich annehme, in unseren Bildern 1 und 2 zum Ausdruck gekommen und mit den Zahlen 3 und 4 kenntlich gemacht. Die Zahl 2 entspricht in den Bildern dem systolischen Hauptschlag. In Bild 3 ist die erste Reflexion sogar sehr spitz und steil und überhöht den systolischen Hauptschlag. Die knotenförmigen Anschwellungen, welche diese reflektierten Wellen bedingen, finden sich auch in peripheren Pulsen, dort allerdings meist nur in der Einzahl, und entsprechen dann der Erhebung, die gewöhnlich als Zwischenschlag bezeichnet wird. In der Aorta haben wir stets einen, meist aber zwei derartige Zwischenschläge.

Sehr deutlich treten diese auf Reflexionswellen beruhenden Zwischenschläge im abfallenden Schenkel des systolischen Hauptteiles der Kurve beim Tachogramm [1]) der Aorta hervor. Bild 4 zeigt ein nach O. Frank (4) geschriebenes Tachogramm der Bauchaorta. Eine Anfangsschwingung ist hier nicht vorhanden. Zunächst fällt der hohe systolische Hauptschlag ins Auge. Auf seinem steil abfallenden Schenkel sieht man sehr deutlich zwei Zwischenschläge, die mit den Zahlen 3 und 4 bezeichnet sind. Das gleiche kann man in Bild 5 an dem Flammentachogramm der gleichen Aorta sehen. Dieses Tachogramm muß nicht von links nach rechts, sondern von rechts nach links gelesen werden. Auch in ihm bezeichnen die Zahlen 3 und 4 die beiden Zwischenschläge. An anderen Stellen der Aortenkurve zeigen sich in unseren Bildern ebenso-

Kurve 4.

Aortentachogramm mit Frankschem Apparat.

1) Diese Arbeit lag gedruckt vor, als v. Kries die Müller'sche Methode der sog. zentralen Flammentachographie einer eingehenden Kritik unterzog und die Richtigkeit der damit erhaltenen Resultate bestritt. Inwieweit wir uns bei der Ausarbeitung des Verfahrens sowie bei der Formulierung der Schlüsse getäuscht haben, inwieweit uns andererseits gewisse später zu publizierende Tatsachen

wenig wie in den Frank'schen irgendwelche Anzeichen reflektierter Wellen.

Über den Ort, an welchem die in der Kurve nachweisbaren Reflexionswellen zurückgeworfen werden, lassen sich naturgemäß immer nur Vermutungen anstellen. Frank denkt nach den bestehenden Relationen zwischen dem zeitlichen Eintritt der ersten

---

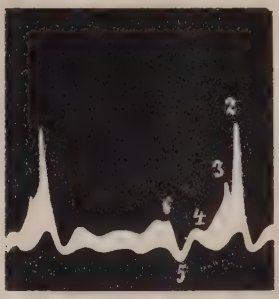
Recht geben werden, wird noch näher zu erörtern sein. Einstweilen lassen wir den vor der v. Kries'schen Kritik geschriebenen Text dieser Arbeit unverändert und weisen nur darauf hin, daß das Wort „Tachogramm" hier wie in der früheren Arbeit von O. Müller und Veiel im bislang gewohnten Sinne in der Tat nicht am Platze ist.

Wir nehmen nicht den Volumenpuls einer ganzen Extremität auf und bringen ihn durch die Flamme in differenzierter Form zum Ausdruck, wie das bei der v. Kries'schen Flammentachographie geschieht. Wir nehmen vielmehr mit einem offenen Trichter die Volumenschwankungen der oberen Hälfte eines Arterienstammes auf, d. h. wir bringen mit unserer Flamme eine dem Pulsvolumen der betreffenden Arterie entsprechende Größe differenziert zur Darstellung. Uns lag und liegt noch jetzt lediglich daran, daß es mit unserer Methode möglich sein möchte, Änderungen des Pulsvolumens der Aorta resp. der Subclavia zu erkennen und daraus Schlüsse auf Änderungen des Herzschlagvolumens zu ziehen. Wie weit es gestattet sein wird, bei Bekanntschaft mit dem Verhalten der peripheren Strombahn und dem Blutdruck aus der wechselnden Größe des Subclaviapulses oder aus Änderungen des Pulsvolumens anderer zentral gelegener Arterien Schlüsse auf eintretende Änderungen des Herzschlagvolumens zu ziehen, läßt sich schwer theoretisch erörtern, sondern wird besser experimentell nachgeprüft. Die Verhältnisse des Ablaufes der Pulswelle, d. h. die Entwicklung des sog. zentralen zum sog. peripheren Pulse, sind, wie gerade diese Arbeit zeigt, de facto andersartige, als man a priori anzunehmen geneigt war. Über diese Prüfung, die wir allerdings der Publikation der Methodik besser vorausgeschickt hätten, wird anderen Ortes berichtet werden.

Einstweilen sei nur darauf hingewiesen, daß v. Kries seinen Ausführungen über unsere Methodik eine irrtümliche Annahme zugrunde gelegt hat. Er meint, wir hätten den Subclaviapuls mit einem gummibespannten Tambour d. h. also mit Gegendruck aufgenommen und hält daher unsere Flammenbilder für differenzierte Druckpulse. In der Arbeit von O. Müller und Veiel ist aber ein offener Pulsrezeptor beschrieben, der nur zum besseren Anschmiegen einen weichen Gummirand hat; auch ist derselbe mit der offenen Seite abgebildet. Von einer Gummimembran, die aus unserem zur Aufnahme der Pulsgröße bestimmten Instrument einen zur Aufnahme der Druckkurve geeigneten Frank'schen Rezeptor machen würde, steht in unserer Beschreibung nichts. Dieses Mißverständnis ist von Bedeutung, da v. Kries dadurch zu der unzutreffenden Meinung gekommen ist, wir hätten mit einer Art Gassphygmoskop differenzierte Druckpulse geschrieben, während wir die räumliche Ausdehnung der oberen Hälfte der Subclavia, die in direktem Verhältnis zu deren Pulsvolumen steht, in differenzierter Form zum Ausdruck brachten, und darauf unsere Schlüsse aufbauten, die ihre Berechtigung oder Nichtberechtigung nunmehr endgültig durch das Experiment zu erweisen haben werden.

reflektierten Welle, der Pulsgeschwindigkeit und der Länge des zurückzulegenden Weges am ersten an die Teilungsstelle der Aorta in die beiden Iliacae, weiter an die Stelle des Eintrittes der Carotis in die Schädelkapsel, wo nach Grashey (6) eine Reflexion stattfinden soll. Daß die in der Aorta nachweisbaren Reflexionswellen nicht da entstehen, wo v. Frey den Hauptort aller Reflexionen sucht, nämlich im Kapillargebiet, ist auch für unsere Bilder aus den zeitlichen Verhältnissen klar. Dagegen stimmt die Annahme einer Reflexion an den Iliacae für unsere Bauchaortenbilder gut. Wir werden später sehen, daß wohl auch an den anderen großen Teilungsstellen im Aortenbogen offenbar Reflexionen entstehen können.

Kurve 5.



Aortentachogramm mit Flamme.

Der menschliche Aortenpuls hat also in gleicher Weise, wie der des Hundes, einen rasch und stetig ansteigenden und etwas langsamer wieder absinkenden, meist mit einer runden Spitze versehenen systolischen Hauptteil, der bis zu dem am Schluß des absteigenden Schenkels gelegenen Knick in der Kurve zu rechnen ist. In diesem Hauptteil zeigen sich drei Einbuchtungen mit zwei dazwischenliegenden Bergwellen, die auf Reflexionen zu beziehen sind und den sog. Zwischenschlägen, oder wenn nur eine solche Erhebung vorhanden ist, dem Zwischenschlag entsprechen.

Am tiefsten Punkt des vorerwähnten, in unseren Bildern 1—3 deutlich sichtbaren und mit der Zahl 5 bezeichneten Knickes, der in der Subclaviakurve (Bild 1 unten) wegen der Nähe der Aortenklappen stärker hervortritt, als in der Bauchaorta, endigt der systolische und es beginnt der diastolische Hauptteil der Kurve. Den Knick bezeichnet Frank als die Incisur des zentralen Pulses. Es ist der Meinung, daß diese Drucksenkung durch eine Rückströmung des Blutes bedingt ist, was v. Frey bekanntlich von der Hand wies. Frank meint, es müsse ein Augenblick kommen, in dem der Druck des linken Ventrikels geringer werde als der Aortendruck. In diesem Augenblick müsse das Blut in der Aorta rückläufig werden, die Klappen nach rückwärts treiben und auf

diese Weise schließen. Die rückläufige Bewegung des Blutes vor dem Klappenschluß sucht er dadurch zu beweisen, daß die von ihm auf mathematischem Wege aus der Druckkurve abgeleitete Geschwindigkeitskurve zur Zeit der Inzisur negative Werte annimmt. Wir können diesen Beweis auch rein empirisch stützen. Unsere Tachogramme (Bild 4 u. 5) zeigen zur Zeit der Inzisur ebenfalls negative Werte. Die Kurve sinkt in diesem Augenblick tiefer ab, als zu irgendeiner anderen Zeit ihres Ablaufes. Es kann also als endgültig gesichert betrachtet werden, daß beim Klappenschluß eine rückläufige Bewegung des Blutes in der Aorta auftritt. Dieselbe muß in der Aortenwurzel nicht unbeträchtlich sein, da sie sich noch in der Bauchaorta so deutlich nachweisen läßt. Die Kurven der Subclavia und der Carotis werden das weiterhin mit großer Bestimmtheit erweisen.

Über den Druckablauf nach der Inzisur heißt es dann bei Frank wiederum in voller Übereinstimmung mit unseren Bildern 1—3 weiter: „Nach diesem Sinken folgt ein sofortiges Ansteigen der Kurve zu einer Nachschwingung (siehe die Zahl 6 in unseren Bildern 1—3). Geradeso wie an dieser Stelle wegen der außerordentlichen Geschwindigkeitsänderungen, die hier stattfinden, ein Anlaß zu Eigenschwingungen der Registrierapparate vorhanden ist, so findet jetzt ebenso wie im Anfang des systolischen Teiles eine Schwingung des elastischen Systems (der Aorta) statt. Die lebendige Kraft, die der Flüssigkeit durch die Rückströmung erteilt worden ist, wird erst nach einer (oder zwei?) (siehe die Zahl 7 in unseren Bildern 1—3) Schwingungen wieder vernichtet. Der Druck erhebt sich also zunächst sehr rasch und senkt sich dann schnell wieder, so daß eine kleine Erhebung von etwa 0,015—0,019 Sekunden Dauer entsteht. Mit großer Wahrscheinlichkeit folgt noch eine kleine Einbiegung, dann geht die Kurve in den ruhigen Abfall des diastolischen Teiles über.“

Die letzten Details der Aortendruckkurve, die schon kurz vor dem Beginn des neuen Pulses liegen, bezeichnet Frank als die Vorschwingungen des Aortenpulses. In allen unseren Bildern (1—3) erscheinen kurz vor Beginn der Systole deutliche Veränderungen des Kurvenablaufes, die mit den Zahlen 8 und 9 bezeichnet sind. Frank schreibt darüber: „Zunächst erscheint kurz vor der Hauptkurve eine sehr rasch verlaufende Schwingung. Sie hat einen verschiedenen Abstand von der Hauptkurve, je nach dem Druck, der zu Beginn der arteriellen Kurve herrscht.“ „Ist der Druck sehr gering in der Aorta, so verschmilzt diese Vorschwingung mit dem

Hauptanstieg.“ (Das ist in unserer Kurve 3 der Fall.) Diese am Fuß der arteriellen Hauptkurve gelegene Vorschwingung erklärt Frank dadurch, daß die Aortenklappen sich während der Anspannungszeit des Ventrikels, also kurz vor ihrer Eröffnung durch den wachsenden Ventrikeldruck nach der Aorta hin ausbuchten sollen. Durch diese Ausbuchtung werde die Flüssigkeitssäule in der Aorta bewegt, wobei eine Eigenschwingung der ganzen Blutsäule entstehe, gerade wie bei der Systole und beim Klappenschluß. „Wir hätten dann“, so meint er, „in der Bestimmung des zeitlichen Abstandes des Beginnes dieser Vorschwingung von der arteriellen Hauptkurve ein Mittel, die Anspannungszeit zu bemessen. Wir finden in den verschiedenen Versuchen so einen Wert von 0,0166—0,0300 Sekunden für die Anspannungszeit.“ Nach unseren Kurven würde sich die Anspannungszeit für den Menschen zu 0,02—0,05 Sekunden bemessen.

Diese Möglichkeit, die Anspannungszeit beim Menschen zu messen, ist praktisch wichtig. Sie wird um so bedeutsamer, als die Subclaviakurve, die bei jedem gesunden Menschen ohne weiteres aufnehmbar ist, wie weiter unten gezeigt wird, die gleiche Schwingung sehr deutlich aufweist. Vor dieser am Fuß des systolischen Hauptteiles gelegenen Zacke findet sich nun in den Frankschen Kurven noch eine zweite weit längere und meist flachere Vorschwingung. Beide sind durch einen deutlichen Knick voneinander getrennt. Frank führt diese zweite Vorschwingung auf die Vorhofskontraktion zurück, betont aber, daß sie auch einer von außen kommenden Einwirkung auf die Arterienwand ihre Entstehung verdanken könne. (Straub hat die Frank'sche Annahme neuerdings als sicher erwiesen.) Sie ist praktisch nicht so wichtig, wie die erste Vorschwingung. In einzelnen Fällen verschmelzen beide Zacken miteinander, und man sieht dann in der Kurve, wie z. B. in Fig. 10 nur eine einzige ziemlich hohe Welle. Andeutungen dieser Vorschwingung finden sich bereits in Kurven, die Marey (5) vom Pferde und Hürthle (7) vom Hunde aufgenommen hat.

Der menschliche Aortenpuls zeigt mithin genau wie der des Hundes unmittelbar vor Beginn des systolischen Hauptanstieges eine oder zwei Vorschwingungen. Sind deren zwei vorhanden, so kann man aus der Dauer der zweiten kleineren die Anspannungszeit des Herzens bemessen.

Die Grundform des Aortenpulses ist somit entsprechend den

Annahmen Frank's in der Tat beim Menschen völlig gleich, wie bei den höheren Wirbeltieren.

Zentrale Pulse in Subclavia und Carotis.

Meines Wissens hat zuerst O. Frank durch Aufsetzen einer Herztonkapsel in der Fossa supracclavicularis beim Menschen Druckkurven der Arteria subclavia aufgenommen und gefunden, daß der dort erhaltene Puls dem zentralen Puls des Hundes sehr nahe steht. Eine Publikation darüber habe ich aber nicht finden können. Wir haben nun unsererseits wiederum mit Heftpflasterbefestigung und Zwischenschaltung eines Korkes Herztonkapseln dicht oberhalb der Clavicula, wo man die Pulsationen der Subclavia fühlen kann, aufgesetzt. Die erhaltenen Kurven ähneln, wie zunächst Bild 6 im Vergleich zu den Bildern 1—3 erweist, und wie ja auch schon der Vergleich zwischen der oberen (von der Aorta stammenden)

Kurve 6.

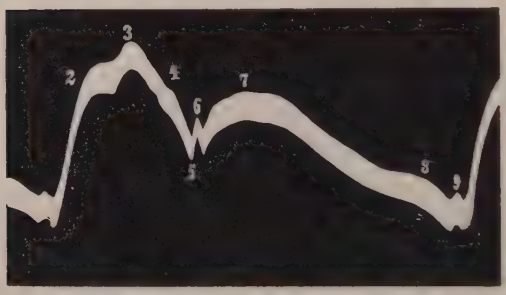
Linke Subclavia.

und der unteren (von der linken Subclavia stammenden) Kurve in Bild 1 gezeigt hat, den Pulsen der Bauchaorta in allen prinzipiellen Grundzügen, während natürlich quantitativ die Ausgestaltung der einzelnen Zacken mannigfache Verschiedenheiten aufweisen kann. Man sieht in Bild 6 die gleichen Verhältnisse des systolischen Hauptteiles mit der Anfangsschwingung (1), dem systolischen Hauptgipfel (2), der dann vom ersten Zwischenschlag (3) etwas überhöht wird. Allerdings bleibt es in dieser Kurve bei einem Zwischenschlag, während in der Subclaviaaufnahme auf Bild 1 (untere Linie) und auch sonst häufig zwei Zwischenschläge nachweisbar sind. Man sieht weiter die entsprechend der kurzen Entfernung von den Aortenklappen relativ tiefe Inzisur (5) mit zwei Nachschwingungen (6 und 7), und endlich die beiden Vorschwingungen (8 und 9), deren zweite kleinere die Bemessung der Anspannungszeit des Herzens

erlauben soll. Prinzipiell andere Details als in der Bauchaortenkurve lassen sich in diesen Subclaviapulsen nicht nachweisen.

Wohl aber kann es nicht ganz selten geschehen, daß einzelne nebensächliche Details der Bauchaortenkurve im Subclaviabilde fehlen, oder auch entstellt sind. Als Beispiel dafür können die Bilder 7 und 7 a dienen. Diese beiden Bilder, die von der rechten (7) und der linken (7 a) Subclavia einer und derselben Versuchsperson rasch hintereinander aufgenommen sind, lassen die Anfangsschwingung vermissen. Die Kurve steigt direkt zum Hauptgipfel an. Wenn man im Zweifel ist, welche Zacke man als den Hauptgipfel und welche als Anfangsschwingung resp. erster Zwischenschlag angesprochen werden soll, so empfiehlt sich am meisten der Vergleich mit einer gleichzeitig aufgenommenen Aortenkurve, wie er in Bild 1 möglich ist. Hat man keine solche Vergleichskurve, so empfehle ich den Abstand der Inzisur von der fraglichen Zacke mit dem Zirkel auszumessen und ihn mit einer gleichlangen Pulskurve vom Grundtypus, die alle Zacken aufweist, zu vergleichen. Es ergeben sich dann bei der Größe der Bilder meist so grobe Unterschiede, daß man über die zu wählende Bezeichnung leicht ins klare kommt. So sind z. B. unsere Kurven Nr. 2 und 7 resp. 7 a fast genau gleich lang. Nimmt man den Zirkel zur Hand, so gewahrt man ohne weiteres, daß der erste Gipfel in Bild 7 und 7 a nicht der Anfangsschwingung in Bild 2 entsprechen kann, sondern dem systolischen Hauptschlag.

Kurve 7.



Rechte Subclavia.

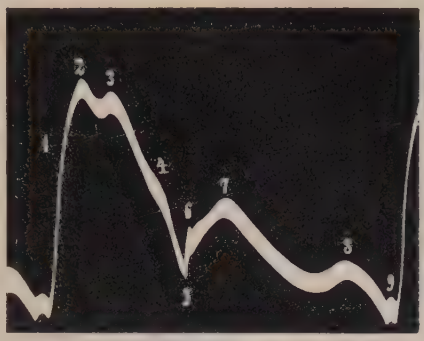
Kurve 7 a.

Linke Subclavia.

Nun kommen aber in der Subclavia doch Pulsformen vor, die auf den ersten Blick fremdartig erscheinen und deshalb noch

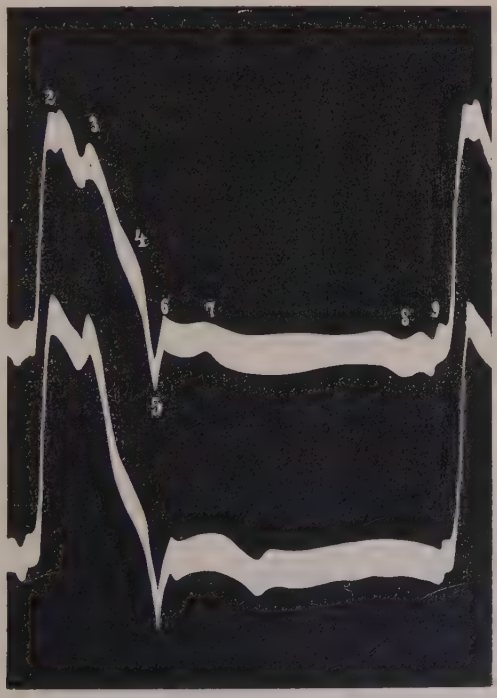
einer gesonderten Besprechung bedürfen. Zunächst zeigte schon Bild 1 in seiner unteren Kurve, daß geradeso wie in der Aorta selbst (vergleiche die Bilder 1 und 2) bei verschieden hohem Mitteldruck der Abfall des diastolischen Teiles sehr verschieden steil verlaufen kann, ohne daß dem geübten Blick die immer gleichen Details verborgen bleiben. Bild 8 und 9 geben hierfür weitere Beispiele. Während in den Figuren 6, 7 und 7a der Kurvenabfall ein langsamer war, so daß man von dem ganzen Pulse annähernd das Bild eines auf die Hypothenuse gestellten rechtwinkligen Dreieckes erhielt, zeigt sich in Bild 8 ein sehr viel steilerer Abfall zur Inzisur

Kurve 8.



Rechte Subclavia.

Kurve 9.

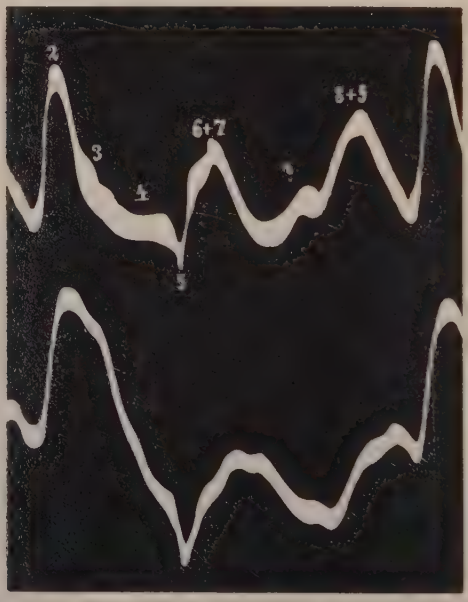


Rechte Subclavia (oben)

Linke Subclavia (unten)

und ein der Horizontalen sich annähernder Verlauf des diastolischen Teiles. Die Anfangsschwingung ist nur durch ein langsameres Ansteigen kurz vor dem Gipfel angedeutet. Der erste Zwischenschlag ist niedriger als der Hauptgipfel, die übrigen Schwingungen sind in gewohnter Weise sichtbar, nur verschmelzen die beiden Nachschwingungen der Inzisur beinahe zu einer breiten Welle. In Bild 9, welches oben die rechte, und unten die linke Subclavia in gleichzeitiger Aufnahme wiedergibt, sind diese Verhältnisse noch ausgesprochener. Eine Anfangsschwingung fehlt ganz, die erste reflektierte Welle ist niedriger, wie der Hauptgipfel und der diastolische Teil verläuft, wie in Bild 1 (untere Kurve) völlig horizontal.

Kurve 10.



Ganz outriert erscheinen die Dinge schließlich in Bild 10, daß oben die rechte, unten die linke Subclavia in gleichzeitiger Aufnahme bei der gleichen Versuchsperson wiedergibt. Hier fehlt die Anfangsschwingung ebenfalls. Der Hauptschlag beherrscht das Bild, wie im Tachogramm. Es folgen die beiden Zwischenschläge, die Inzisur mit den teilweis zusammengeflossenen Nachschlägen und endlich die ebenfalls wieder zusammengeflossenen Vorschwingungen.

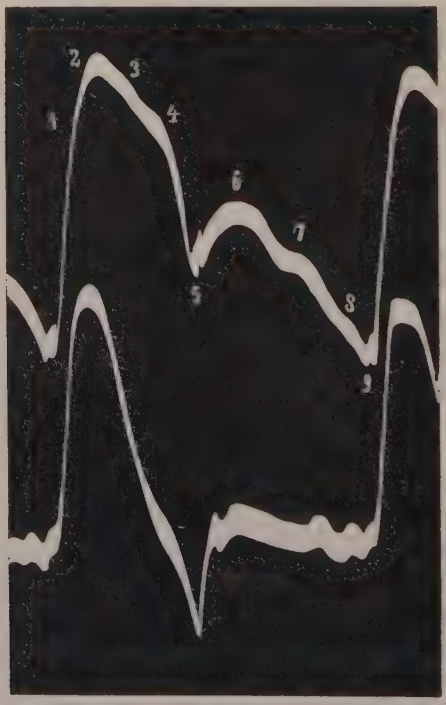
Es ist dann noch ein weiterer Punkt ins Auge zu fassen: Aus allen Kurven, die gleichzeitig oder unmittelbar nacheinander

von der gleichen Versuchsperson auf beiden Seiten aufgenommen worden sind, finden sich Unterschiede zwischen rechts und links. Zunächst fällt bei Vergleich der Bilder 7 und 7 a auf, daß die erste Nachschwingung nach der Inzisur rechts deutlicher und schärfer ist als links. Das gleiche gilt für die kleine Vorschwingung, welche der Verschlußzeit des linken Ventrikels entsprechen soll. Diese Tatsachen finden sich weiter in den Bildern 9 und 10 bestätigt und haben sich uns auch sonst in zahlreichen Fällen ergeben. Im Gegensatz zu dieser meist deutlicheren Wiedergabe der ersten Inzisurnachschwingung rechts ist nun aber die Inzisur selbst in der Regel links stärker ausgebildet. Bild 9 zeigt das angedeutet, Bild 10 sehr stark ausgesprochen. Wir haben es auch sonst sehr häufig, wenn auch nicht ganz ausnahmslos beobachtet. Die Ursache dieser Unterschiede im Subclaviapulse der rechten und linken Körperseite ist fraglos in der verschiedenen anatomischen Anordnung der betreffenden Gefäßgebiete zu suchen. Die linke Subclavia entspringt direkt, die rechte durch die Anonyma indirekt aus dem Aortenbogen. Nun kann es sich entweder darum handeln, daß die Grundform des Aortenpulses nach beiden Seiten hin verschieden gut resp. schlecht fortgeleitet wird. Das ist, wie sich aus der Entwicklung des Pulses an der oberen Extremität weiter unten zeigen wird, recht unwahrscheinlich, denn die Grundform wird merkwürdig weit fortgeleitet, ohne starke Entstellungen zu erfahren. Oder es können sich hier der verschiedenen Ausgestaltung der Strombahn entsprechend unterschiedene periphere Einflüsse geltend machen, welche umgestaltend auf die Grundform einwirken. Man kann dabei an Wirbelbildungen und Reflexionen, vor allem aber auch an Eigenschwingungen der Blutsäule in den großen Gefäßen denken, wie wir sie von der Entstehung der Anfangsschwingung in der Aorta her kennen.

Solche Eigenschwingung setzt Frank z. B. für die Entstehung der eigenartigen Pulsform in der Femoralis voraus, worüber weiter unten noch zu handeln sein wird. Er führt dabei aus, ein solches großes, von der Aorta abgehendes Blutgefäß verhalte sich ähnlich, wie ein Manometer von geringer Schwingungszahl, das man in die Aorta eingebunden habe. Ein solches Manometer gibt vermöge seiner langsamen und großen Schwingungen Entstellungen des Aortenpulses, die ganz ähnlich aussehen wie die breite Welle, die im Femoralpuls dem Knick der Kurve folgt. Ich glaube, daß wir es an den großen Gefäßen, die vom Aortenbogen abgehen, mit ähnlichen Verhältnissen zu tun haben. Sieht man die Kurven an,

die Frank vom Aortenbogen des Hundes abgebildet hat, und vergleicht sie mit unseren Subclaviabildern, so ergibt sich bei aller prinzipiellen Gleichheit der Verhältnisse doch ein deutlicher Unterschied in der Gestaltung der Nachschwingungen nach der Inzisur. Ich habe deshalb den Eindruck, daß die hohen Bögen, die sich teilweis in unseren Subclaviakurven nach dem Knick finden, nicht aus dem Aortenbogen stammen, sondern durch Eigenschwingungen der Blutsäule in den großen Gefäßen entstanden sind. Sobald aber Eigenschwingungen dieser Gefäßstämme anzunehmen sind, müssen sie bei deren rechts und links verschiedener Gestaltung auch unterschiedene Effekte zeitigen. Die Anonyma mit der Subclavia muß andere Schwingungen ausführen, wie die Subclavia mit dem Aortenbogen. Eine Violine klingt anders wie eine Bratsche. Hier haben wir also ganz offenbar eine periphere Beeinflussung der Pulsform. Wir werden im Laufe unserer Untersuchungen noch öfter auf solche stoßen, aber doch lange nicht so häufig, wie man früher annahm. Es wird sich zeigen, daß nur größere Gefäßstämme zu Eigenschwingungen befähigt sind, die so stark sind, daß man sie in den Pulsbildern nachweisen kann. Bei

Kurve 11.



Rechte Carotis (oben)

Linke Carotis (unten)

den kleinen Gefäßen ist von solcher aktiver peripherer Entstellung der Kurven, sei es nun durch Eigenschwingungen, sei es durch Reflexionen, nichts nachweisbar.

Ganz ähnliche Verhältnisse, wie für die Subclavia, ergeben sich für die Carotis, die wir in der Regel im oberen Halsdreieck in der Gegend ihrer Teilungsstelle aufgenommen haben. Betrachtet man in Bild 11 die obere von der rechten Carotis stammende Kurve und vergleicht sie mit Bild 8 von der rechten Subclavia, so sind keinerlei prinzipielle Unterschiede vorhanden. Alle Details der Aortenkurve, die Anfangsschwingung in Gestalt des verlangsamten Anstieges gegen den Gipfel hin, die beiden Zwischenschläge, die Inzisur, die Nachschwingungen derselben und die Vorschwingungen lassen sich in der Carotis annähernd ebensogut wiedererkennen wie in der Subclavia. Weiter zeigt sich auch hier der große Unterschied zwischen rechts und links. Auf der linken Seite ist genau wie in der Subclavia der Pulsabfall viel steiler, die Inzisur tiefer und damit der diastolische Teil der Kurve horizontaler gerichtet. Diese unsere Carotisbilder stimmen mit denjenigen, die Tigerstedt jüngst in einer kleinen Publikation (11) von der menschlichen Carotis gegeben hat, in allen Details genau überein.

Es kann mithin keinem Zweifel unterliegen, daß wir an Subclavia wie Carotis, besondes aber an der Subclavia, bei jedem Menschen Druckpulsbilder aufnehmen können, die alle Details des Aortenpulses gut und vollständig zeigen und dabei durch die Einwirkung des peripheren Gefäßsystems nur in ganz nebensächlichen Punkten entstellt sind. Diese Tatsache weitgehender prinzipieller Gleichheit des Aortenpulses mit dem Subclaviapuls ist von praktischer Bedeutung. Gibt uns die bei jedem gesunden und kranken Menschen leicht zugängliche Subclavia ein ziemlich getreues Abbild des Druckablaufes in der Aortenwurzel, so könnte sie auch in gleicher Weise Schlüsse auf die bei jedem Herzschlag eintretenden Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit dortselbst zulassen. Man kann den Ablauf der Geschwindigkeitskurve einmal auf mathematischem Wege aus der Druckkurve ableiten, und man kann zweitens sowohl mit der Flamme, wie mit dem Frank'schen Apparat an der bezeichneten Stelle Kurven aufnehmen, die dem Geschwindigkeitsablauf proportional sind, wie wir solche in Bild 4 und 5 schon von der Aorta gaben. Erhält man aber Einblick in Strom-

verhältnisse, die denen der Aorta nahe stehen und noch nicht nennenswert durch die modifizierenden Einflüsse des peripheren Kreislaufes umgestaltet sind, so ist man in der Lage, eintretende Änderungen des Schlagvolumens zu erkennen, wenn man den Querschnitt der Aorta als eine annähernd konstante mittlere Größe ansetzt, was man ohne großen Fehler tun darf. Das Schlagvolumen ist nämlich dann, wie Bornstein (8) neulich ganz richtig ausgeführt hat, gleich der vom Tachogramm eingenommenen Fläche multipliziert mit den mittleren Querschnitt der Aorta.

Nun wird ja in der Klinik schon lange nach einer Methode gesucht, die gestattet, das Schlagvolumen beim Menschen zu bestimmen. O. Müller und Veiel (9) haben deshalb von den soeben entwickelten Gesichtspunkten ausgehend seit einiger Zeit mit der v. Kries'schen Tachographenflamme, aber unter Vermeidung des Plethysmographenzylinders und Anwendung eines neukonstruierten Rezeptors von der Subclavia direkt aufgenommene Flammenbilder benützt, um aus der wechselnden Höhe des Hauptschlages, welche bei stärkeren Veränderungen die Fläche des Tachogrammes beherrscht, auf eintretende Änderungen des Schlagvolumens zu schließen. Dagegen hat Bornstein jüngst polemisiert und gemeint: „Aus den bis jetzt vorliegenden Tachogrammen lassen sich keine Schlüsse auf das Herzschlagvolumen ziehen.“ Das ist nicht richtig. Zunächst befindet sich Bornstein bei seinem Einwand insofern in einer mißlichen Situation, als wir in Tübingen mit unseren bisher erhaltenen Resultaten die klinische Erfahrung und das Tierexperiment für uns haben, während er sich bei den Ergebnissen seiner gasanalytischen Studien, welche hier konkurrieren sollen, mit der ersteren in Widerspruch setzt. An der Tübinger Poliklinik wurde mit dem Flammentachogramm der Subclavia demonstriert, daß Aorteninsufficienzen ein mächtig vergrößertes, Aortenstenosen ein verkleinertes Schlagvolumen auswerfen, und daß normale resp. kranke Menschen auf Arbeitsleistung, intravenöse Digitalisierung und heiße Bäder mit Vermehrung des Schlagvolumens antworten. Das sind in Hinsicht auf die Herzfehler, die Digitaliswirkung und die Arbeitsleistung sicher richtige Resultate. Aber auch bei den heißen Bädern ist eine Vermehrung des Schlagvolumens, wie sie in Tübingen mit der Flamme gefunden wurde, viel wahrscheinlicher, als eine Verminderung, wie sie Bornstein mit seiner Gasmethode feststellt; denn warum bekommt man so schwere Herzkollapse, sobald man herzschwache Menschen in heiße Bäder, speziell auch in Dampf-, Heißluft- oder Sandbäder setzt, wenn ihre Herzleistung dabei sinkt, und nicht steigt, wenn man verminderte statt vermehrte Ansprüche an ihr Herz stellt?

Aber ganz abgesehen von diesen allgemeinen Erwägungen sind die Bornstein'schen Einwände vor allem auch in ihrem theoretischen Teile durchaus nicht zutreffend. Er hebt da einmal hervor, wir hätten nur aus der Flammenhöhe unter Berücksichtigung des Blutdruckes geschlossen, wie Kraus (10) nach dem Vorgang von Marey eingeführt habe. Das sei falsch. Nun einmal haben wir den Blutdruck durchaus nicht als die conditio sine qua non hingestellt. Vielmehr heißt es auf S. 93 des

zweiten Teiles der Arbeit von O. Müller und Veiel: „es erscheint durchaus nicht ausgeschlossen, daß das zentrale Tachogramm auch ohne Relation mit dem Blutdruck einen direkten Ausdruck für die Größe des Schlagvolumens gibt.“ Das ist Bornstein entgangen. Weiter aber ist eben die Höhe des Hauptschlages im Tachogramm bei wesentlichen Änderungen so weitgehend für den Inhalt seiner Fläche bestimmend, daß man in der Tat meist schon aus dieser Größe allein den Schluß ziehen kann, den man eigentlich, wie Bornstein richtig hervorhebt, erst aus der Größe der Fläche ziehen sollte. Sieht man z. B. die Bilder Nr. 38 a und b auf Seite 695 der ersten Abhandlung von O. Müller und Veiel (Nr. 606/608 der Volkmann'schen Hefte) und ebenso die Bilder Nr. 17 a und b auf Seite 91 der zweiten Abhandlung (Nr. 630/632 dieser Vorträge) näher an, so wird niemand bestreiten wollen, daß mit dem stark wachsenden Hauptschlag und der tief ausholenden Inzisur, auf die neben dem Hauptschlag bereits besonders von uns hingewiesen ist, eben natürlicherweise die beschriebene Fläche des Tachogrammes das eine Mal nach dem heißen, das andere Mal nach dem Kohlensäurebad außerordentlich stark gewachsen ist. Nach dieser Richtung kann Bornstein mithin unsere Schlüsse nicht angreifen. Die Tachogrammfläche, von der man in der Tat besser redet, als von der Höhe des Hauptschlages, ist in der Richtung geändert, die wir angedeutet haben.

Wenn Bornstein dem Tachogramm dann weiter vorwirft, man könne seine Fläche nicht nach absolutem Maß ausmessen, da die Ordinaten, mit denen das Tachogramm geschrieben würde, unbekannt seien, so ist das ganz richtig. Nur möchte ich in dieser Begrenzung der Möglichkeiten im Gegensatz zu Bornstein eher einen Vorteil, als einen Nachteil sehen. Man kann ja durch Auflegen auf Millimeterpapier unter allen Umständen feststellen, ob eine Tachogrammfläche sich relativ vergrößert oder verkleinert hat. Damit kann man erfahren, ob das Schlagvolumen relativ gewachsen oder gesunken ist. Man wird dabei in die Lage kommen, bei dem Befund kleiner Differenzen vorsichtig zu sein. Das ist gut. Wäre es nun gar noch möglich, das Tachogramm nach absolutem Maß auszumessen, so würde vielleicht jemand auf den Gedanken kommen, auch mittels dieser Methode zahlenmäßige Werte für das Herzschlagvolumen gewinnen zu wollen, wie man es bei den gasanalytischen Methoden trotz ihrer enormen Fehlerquellen gemacht hat, um durch solche Überexaktheit von vornherein starke kritische Bedenken auszulösen. Nimmt also die Fläche des zentralen Tachogramms zu, so nimmt das Schlagvolumen zu, das wird sich nicht mehr bestreiten lassen. Daß man es dabei nur mit relativen Werten zu tun hat, leugnet niemand. Es ist aber schon wichtig genug, wenn wir einen Hinweis darauf erhalten können, in welchem Sinne das Schlagvolumen sich ändert, und es muß neuerdings als dringend fraglich erscheinen, ob die gasanalytischen Methoden, die vielfach so schöne Zahlen bringen, auch nur mit annähernd der gleichen Sicherheit ähnliche Schlüsse zulassen.

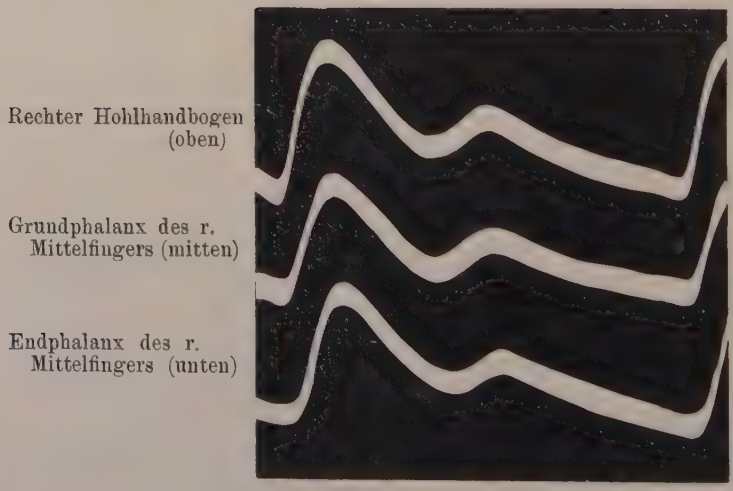
Periphere Pulse an der oberen Extremität.

Wie entwickelt sich nun aus der zentralen Grundform der periphere Puls, den der Arzt zu tasten gewöhnt ist? Wir wollen

versuchen dieser ungemein schwierigen Frage zunächst ohne jede theoretische Prämisse an der Hand der einfachen Beobachtung näher zu kommen. Das läßt sich am klarsten und elegantesten an der oberen Extremität durchführen; und darum verfolgen wir die Pulswelle zunächst auf ihrem Wege von der Subclavia nach den distalen Teilen der oberen Extremität. Die Bilder 12 und 13

Kurve 12.

Kurve 13.

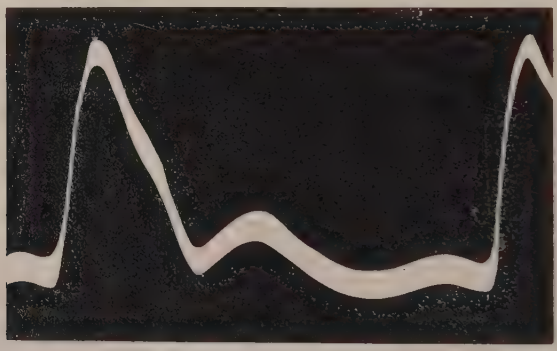


zeigen die Entwicklung der Pulswelle von der Subclavia bis zur Endphalanx des Mittelfingers am rechten Arm. Sie sind unmittelbar hintereinander aufgenommen, so daß man zeitliche Unterschiede durch Veränderung des Gefäßtonus, wie sie zwischen beiden Aufnahmen eingetreten sein könnten, ziemlich außer Acht lassen darf. Der größte Unterschied in der Pulsform ergibt sich bei dieser Serie von Bildern auf der Strecke zwischen Subclavia (aufgenommen oberhalb der Clavicula) und Brachialis (aufgenommen im sulcus bicipitalis internus dicht oberhalb der Ellenbeuge). Während die Subclavia (in Bild 12 unten) noch den klassischen Typ des zentralen Pulses mit Anfangsschwingung, Zwischenschlag, tiefer Inzisur mit großer Nachschwingung und beiden Vorschwingungen aufweist sieht man an der Brachialis (in Bild 12 Mitte) ein relativ glattes Band. Die Anfangsschwingung ist ausgelöscht, so daß der Gipfel einfach (wenn auch noch nicht spitz) geworden ist. Vom Zwischenschlag ist nur noch eine leichte Andeutung vorhanden. Die Inzisur hat sich zwar in ihrer Tiefe noch gut erhalten, doch fehlen ihr die feineren Details der Nachschwingungen. Von Vorschwingungen ist nichts mehr zu sehen. Ganz das gleiche, nur noch stärker betont, läßt sich vom Radialpuls (in Bild 12 oben) sagen. Hier ist der Gipfel spitzer geworden (offenbar ist die Wirkung der zweiten Spitze des ursprünglichen Doppelgipfels, der von der ersten Reflexion gebildet war, völlig ausgelöscht). Die Inzisur ist stark abgeflacht. Weitere Details bestehen nicht. Bemerkenswert ist auch der immer flacher werdende Neigungswinkel des aufsteigenden Schenkels der drei Kurven. Man sieht die Welle langsamer, weniger energisch ansteigen, und man ist geneigt, sich nicht zu wundern, daß mit ihrer zunehmenden Trägheit ihre feineren Details im absteigenden Schenkel durch Reibung allmählich ausgelöscht sind. Der in der Subclavia noch jugendfrische und charaktervolle Puls scheint allmählich zu verflachen und an Originalität zu verlieren, bis er im Kapillarsystem zu einer gleichförmigen Vorwärtsbewegung degeneriert ist.

Die Fortsetzung dieser Vorgänge zeigt Bild 13. Dort ist oben der Druckpuls des oberflächlichen Hohlhandbogens (größer und darum scheinbar ausdrucksvoller als der Radialpuls im vorigen Bilde), in der Mitte derjenige einer Seitenarterie in der Grundphalanx des Mittelfingers und endlich unten der Puls des Endbogens in der äußersten Phalanx dieses Fingers dargestellt. Man sieht auch hier die Gipfel allmählich etwas spitzer, die Inzisuren deutlich flacher, die Neigungswinkel des systolischen Kurven-

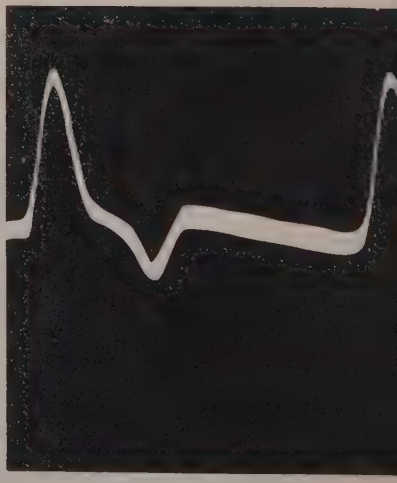
anstieges größer werden. Auch fehlen weitere Details in allen drei Kurven. Vergleicht man den Subclaviapuls in Bild 12 und den Puls der Endarterie in der äußersten Phalanx des Mittelfingers, so kann man sich dem Eindruck nicht verschließen, daß die Welle auf dem Wege durch die obere Extremität in gleicher Weise an Raschheit und Energie des Anstieges, wie vor allen Dingen an Details der Form eingebüßt hat, während neue Momente nicht hinzugetreten sind. Der Fingerpuls erscheint hier der unbefangenen Betrachtung als ein reiner Epigone des Subclaviapulses. Er versucht wohl, es seinem Vorbilde nachzutun, erreicht es aber nur in seinen

Kurve 14.



Rechte Brachialis.

Kurve 16.



Kurve 15.

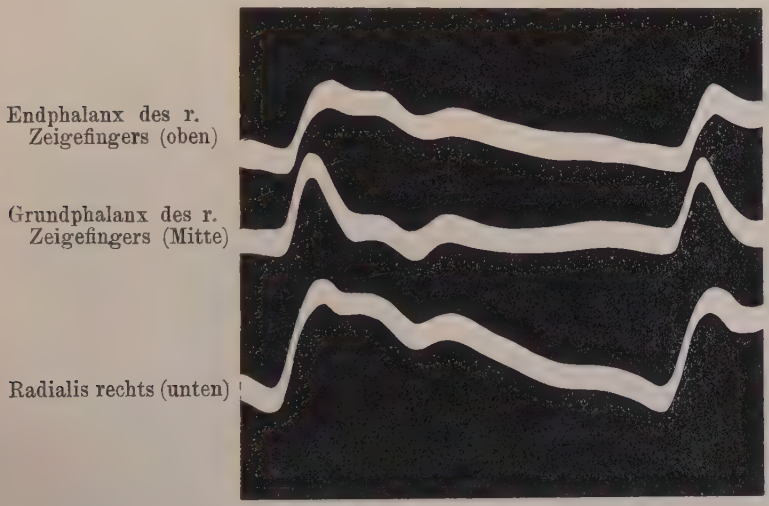
Brachialis (rechts).

Brachialis (rechts).

allergröbsten Umrissen. An Originalität, an eigener produktiver Tätigkeit scheint er nichts zu leisten. Es wird sich erst allmählich erweisen müssen, ob dieser erste Eindruck des unbefangenen Beobachters der richtige ist, oder ob doch auch die Peripherie gestaltend einzuwirken vermag.

Die letztere Annahme scheint nahe zu liegen, wenn man nicht nur die beiden Bilder 12 und 13, sondern auch noch andere, zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Stellen aufgenommene Sphygmogramme aus dem Arteriensystem der oberen Extremität betrachtet. Um mit der Brachialis anzufangen, muß zunächst betont werden, daß deren Kurven durchaus nicht immer so einfach

Kurve 17.



aussehen, wie in Bild 12. So zeigt Fig. 14 eine Brachialiskurve, in welcher erstens der Zwischenschlag und zweitens die Vorschwingung sehr deutlich hervortritt. Bild 15 bringt einen weiteren Brachialispuls mit deutlicher Anfangsschwingung, und Bild 16 einen solchen mit ungewöhnlich tiefer Inzisur. Man sieht also, es lassen sich auch in der Brachialiskurve zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Personen noch andere Details nachweisen, wie in Bild 12, aber man sieht auch zugleich, daß diese neuen Details nicht von denen des zentralen Pulses wesensverschieden sind, daß es sich dabei nicht um Neuschöpfungen der Peripherie handelt, sondern um bessere Erhaltung der zentralen Form. Das stimmt

auch mit den Bildern, die Tigerstedt jüngst in einer kleinen Mitteilung von der Brachialis des Menschen gegeben hat, und die alle Details des zentralen Pulses erkennen, anderweitige, neu hinzugetretene aber vermissen lassen.

Sehr augenfällig ist die gelegentlich auftretende stärkere Wellung auch weit peripher aufgenommener Pulsbilder weiter in Bild 17. Man sieht hier in der Radialis (unten) einen sehr deutlichen Zwischenschlag, eine beträchtliche Inzisur, eine sichere Nachschwingung und endlich eine Vorschwingung. Die gleichen Details lassen sich sogar noch deutlich in der Grundphalanx des rechten Zeigefingers (in der Mitte) und angedeutet selbst in der Endphalanx (oben) erkennen. Auch in der Tabatière anatomique kann man von dem nach dem Handrücken abzweigenden Ast der Radialis gelegentlich solche Bilder mit den verschiedensten Details aufnehmen (siehe Bild 18). Immer wieder aber muß man konstatieren, daß es sich bei diesen auch weit peripherwärts auftretenden Wellungen der Pulskurven ganz offenbar nicht um periphere Einflüsse handelt, sondern lediglich um bessere Erhaltung, um ausbleibende Auslöschung der bekannten Formen des zentralen Pulses.

Kurve 18.

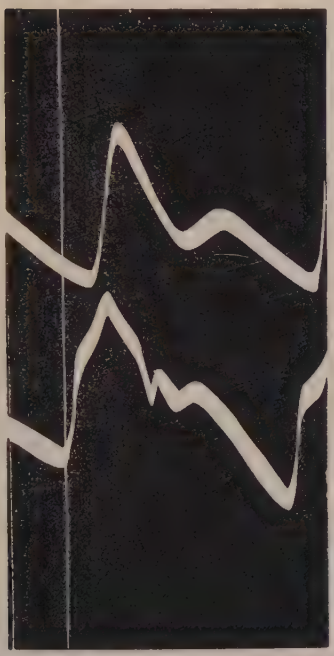
Tabatière (rechts).

Hier sind nun zweierlei Punkte von Wichtigkeit. Einmal kann man durch festeres Aufsetzen der Gummimembran des Rezeptors auf die Arterie fraglos Details der Pulskurve zur Darstellung bringen, die bei lockerem Aufsetzen nicht sichtbar sind. Darin haben wir ganz die gleiche Erfahrung gemacht wie Tigerstedt. Es muß aber betont werden, daß man an der oberen Extremität nirgends, auch nicht bei sehr starkem Anpressen Details der Kurvenform erhalten kann, welche nicht schon im zentralen Pulse sichtbar wären. Technisch kann man also wohl gelegentlich den Fehler des zu wenig machen, nicht aber den des zu viel.

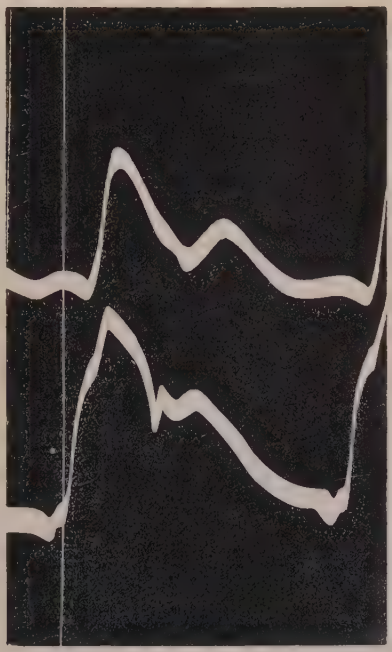
Weiter beobachtet man bei gleichem Aufsetzen resp. bei unveränderter Stellung des Rezeptors nach gewissen Eingriffen, die

den Tonus verändern, wie Veiel(4) in seiner schönen Arbeit jüngst hervorgehoben hat, Änderungen der Pulsform. Tonuszunahme vermehrt, Tonusabnahme vermindert die sekundären Elevationen. Das ist ja schon früher öfter behauptet worden. Veiel hat es aber in sehr ausgedehnten und einwandfreien Untersuchungen jetzt sicher erwiesen. Behält man diese Tatsache im Auge, so ergibt sich eine zwanglose Erklärung der verschiedenen Gestaltung der Pulskurven einer und derselben Arterie zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Menschen. Man kann

Kurve 19.



Kurve 20.



dann sagen, die Arterien der oberen Extremität geben Pulsbilder, die der zentralen Urform bei hohem Tonus näher, bei tiefem Tonus ferner stehen. Dabei hat die zentrale Form im allgemeinen die Neigung, sich gegen die Peripherie hin zu verwischen. Hat man also hohen Tonus, so kann man z. B. in der Radialis noch Bilder erhalten, wie sie sonst nur in der Brachialis vorkommmen, oder mit anderen Worten: der mit den Kennzeichen des Urbildes versehene Puls verschiebt

sich am Arme nach aufwärts resp. abwärts, je nach dem Grade der Wandspannung des Gefäßes. Wir möchten diese Auffassung zunächst nur für die obere Extremität und auch hier mit Reserve zur Diskussion stellen. Sie hat nach unseren Erfahrungen viel für sich und vereinfacht die Vorstellung der Dinge wesentlich. Ob sich aber nicht doch auch an der oberen Extremität bei weiterer Untersuchung noch Details im Pulse werden finden lassen, die peripheren Ursprunges sind, muß abgewartet werden.

Es sei noch eine weitere Tatsache angefügt, welche geeignet ist, unsere oben ausgeführte Auffassung von der Entstehung der peripheren Pulsform des Armes zu stützen. Durch A. v. Haller (12), Moens (13), Grunmach (14) und Lommel (15) wissen wir, daß die Pulsverspätung zwischen zwei Gefäßen mit wachsendem Tonus ab- und mit sinkendem zunimmt. Die Welle schreitet in einem tonisierten Gefäß rascher, in einem entspannten langsamer fort: natürlich auf Asphalt geht es sich rascher als im Sande. Nun kann man bei unveränderter Lage der Aufnahmekapseln des Frank-schen Apparates, wie Bild 19 und 20 (oben Radialis, unten Subclavia) zeigen, sobald man eine Tonusänderung herbeiführt, sehr deutlich nachweisen, wie die Pulsverspätung sich ändert, und wie gleichzeitig auch die Pulsform beeinflußt wird. Bild 19 ist bei Ruhelage der Versuchsperson aufgenommen, Bild 20 einige Zeit später, nachdem 1 ccm Digalen injiziert worden ist (siehe Naegele (16) aus der medizinischen Poliklinik zu Tübingen). Unter dem tonisierenden Einfluß dieses Mittels ist, wie Bild 20 ergibt, die Pulsverspätung zwischen Subclavia und Radialis deutlich kleiner geworden, und außerdem ist in der Radialiskurve der Zwischenschlag aufgetreten, die Inzisur ist viel tiefer geworden und eine Vorschwingung ist erschienen. Mit anderen Worten: unter dem tonisierenden Einfluß der Digitalis ist die Radialkurve zentraler geworden als sie vorher war.

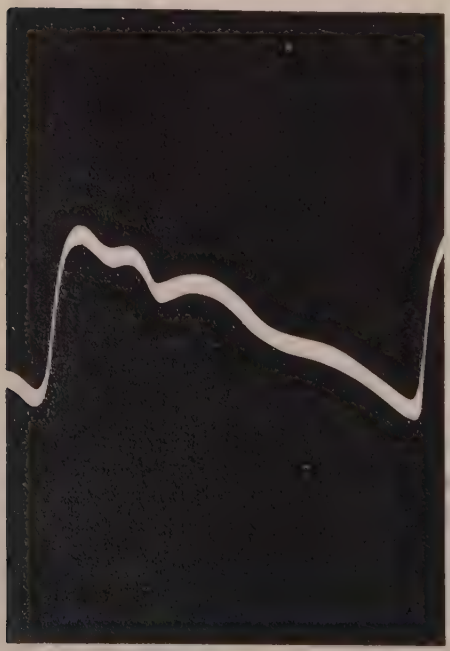
Hier ist es an der Zeit, auf den zweiten großen Fortschritt hinzuweisen, den die Frank'sche Kritik und Technik für die praktische Medizin bringt. Der erste bestand, wie oben ausgeführt, darin, daß es jetzt möglich ist, eine dem Aortenpuls sehr ähnlichen Druck- und Stromkurve bei jedem Menschen in Subclavia und Carotis zu erhalten. Die Möglichkeit brachte uns Aufschlüsse über die Verschlußzeit des Herzens, über eintretende Änderungen des Schlagvolumens und vielleicht auch über die Elastizität der

Aorta. Der zweite Fortschritt besteht darin, daß wir jetzt eine neue Methode haben, um Tonusänderungen kleiner und kleinster Arterien in der Körperperipherie festzustellen. Die Methode der Pulsverspätungsmessung, die früher mühsam und zeitraubend war, jetzt einfach und leicht ausführbar ist, im Verein mit der gleichzeitig durchzuführenden Beobachtung von Änderungen der Pulsform nach Veiel macht uns vom Plethysmographen unabhängiger als früher. Veiel hat ja in sehr eleganter Weise gezeigt, daß beide Methoden tatsächlich übereinstimmende Resultate ergeben. Und wir werden den Gebrauch des Plethysmographen um so lieber einschränken, als er einmal umständlich und am Krankenbett oft lästig ist, und es sich dabei außerdem um eine Methode handelt, die auch von der Beschaffenheit des venösen Abstromes abhängig ist, während die Pulsuntersuchung in der doppelten Form der Pulsverspätungsmessung und der Beobachtung der Pulsform an der Arterie selbst angreift.

Unsere Besprechung der Armpulse würde unvollständig sein, wenn man nicht noch mit kurzen Worten der Vorstellungen gedenken wollte, welche man sich früher über die Inzisur und die ihr folgende Nachschwingung gemacht hat. Diese Nachschwingung ist bisher in der Regel als sog. dikrote Elevation des Pulses bezeichnet worden, und v. Frey (2) hat von ihr geschrieben: „Für die Arterien der Extremitäten dürfte es ziemlich feststehen, daß sie (die Dikrotie) die Summe der stromläufigen und rückläufigen Wellen zweiter Ordnung darstellt.“ Diese Auffassung ist in neuerer Zeit von Frank widerlegt worden, der auf die alte Marey'sche, von v. Frey bestrittene Vermutung zurückkam, daß beim Schluß der Aortenklappen ein Rückstrom des Blutes stattfinden müsse, und daß dieser Rückschlag der Blutsäule sich bis in den peripheren Puls hinein fortsetze, dort die Dikrotie erzeugend. Diese Frank'sche Auffassung, daß die sog. Dikrotie am Pulse der oberen Extremität durch rückläufige Bewegung des Aortenblutes beim Klappenschluß bedingt wird, ist bezüglich der Tatsache des Rückstromes durch unsere Tachogramme von der Aorta (Fig. 4, 5), bezüglich der Weiterleitung in die Peripherie durch unsere Druckpulsbilder 12 und 13 gestützt und jetzt wohl als sicher erwiesen zu betrachten. Wenn man die Entwicklung der Einbuchtung und der ihr folgenden Nachschwingung in den Bildern 12 und 13 sieht, wenn man beobachtet, wie die sog. Dikrotie peripherwärts genau entsprechend der zurückgelegten Strecke später eintrifft, und

wie sie sich dabei mehr und mehr abflacht, so kann wohl kein wirksamer Einwand mehr erhoben werden. Die Summe einer stromläufigen und einer rückläufigen Welle kann nicht vom Zentrum nach der Peripherie fortschreitend zeitlich genau nach dem Maße des zurückgelegten Weges sich verspäten. Auch müßte man verlangen, daß einer stromläufigen Welle zweiter Ordnung eine rückläufige Welle erster Ordnung vorangegangen sei. Von rückläufigen Wellen, die sich von der Peripherie beginnend nach dem Zentrum hin verspäten, ist aber weder in den publizierten, noch in unseren zahlreichen unpublizierten Kurven irgend etwas zu sehen. Es ist

Kurve 21.



Rechte Brachialis vor Kompression.

Kurve 22.

Rechte Brachialis nach Kompression.

mithin Grund zu der Annahme vorhanden, daß in der oberen Extremität selbst keine Reflexionen stattfinden, resp. daß etwa stattfindende Reflexionen so geringfügig sind, daß sie zur Erklärung der bekannten sekundären Wellen der Pulskurve nicht herangezogen werden können. Diese sind, wie unsere Bilder zeigen, alle rechtläufig, nie rückläufig, und so erklärt es sich denn auch, daß man die Brachialis komprimieren kann, ohne daß dadurch im ober-

halb der Kompressionsstelle aufgenommenen Sphygmogramm dieses Gefäßes eine prinzipielle Änderung nachzuweisen wäre. Bild 21 zeigt die Brachialiskurve vor der Kompression, Bild 22 nach derselben. Die Kompression wurde durch eine dicht unterhalb des Frank'schen Rezeptors für die Pulsaufnahme um den Arm gelegte Riva-Rocci'sche Blutdruckmanschette ausgeführt. Man sieht, Zwischenschlag, Inzisur, Nachschwingung und Vorschwingung bleiben nach der Kompression geradesogut erhalten, wie sie vorher waren. Nur die Spitze des Pulses ist etwas stumpfer geworden, weil sich natürlich eine solche Kompression nicht ganz ohne Änderung des Gefäßtonus durchführen läßt.

Nun ist uns bekannt, daß v. Frey das gegen die Reflexionslehre aus der Peripherie sprechende Resultat solcher Kompressionsversuche einzelner Extremitäten damit auszuschalten sucht, daß er sagt, die Reflexionen kämen eben aus den übrigen Kapillargebieten des Körpers zurück in die Aorta und würden von dort auch in den blinden Stumpf der komprimierten Arterie weitergeleitet. Demgegenüber muß aber denn doch gesagt werden, daß wenn man ein so großes Kapillargebiet, wie das des Armes, oder, wie wir weiter unten sehen werden, sogar das eines Beines für die Reflexionen ausschaltet, man füglich erwarten muß, es möchte durch Fortfall der diesem großen Gebiete entspringenden peripheren Reflexionen ein größerer Unterschied nach der Kompression sichtbar werden, als das in Bild 22 tatsächlich der Fall ist. In diesem Bild ist nun nach der Kompression gerade wie vor derselben etwas von Reflexionswellen zu sehen in Gestalt des Zwischenschlages; aber dieser Zwischenschlag schreitet, wie unsere sämtlichen Kurven übereinstimmend erweisen, ausnahmslos zentrifugal fort. Dieser Zwischenschlag, resp. diese beiden Zwischenschläge, wie sie in den zentralen Gefäßen gelegentlich hervortreten, können, wie schon Frank ausgeführt hat, nach der Zeit ihres Eintrittes ihr Dasein nicht Reflexionen im Kapillarsystem verdanken, sondern müssen durch solche an großen, dem Herzen relativ nahe gelegenen Gefäßteilungsstellen hervorgerufen sein. Frank nimmt bekanntlich an, daß die systolische Welle etwa an der Teilungsstelle der Iliacae rückläufig reflektiert, und dann von den Aortenklappen zum zweiten Male rechtläufig in die Peripherie hinausgesandt wird. Das stimmt mit unseren Befunden überein, von Reflexionen in der Peripherie, im Kapillarsystem konnten auch wir nichts nachweisen.

Es muß weiter darauf aufmerksam gemacht werden, daß unsere Auffassung, wonach die sekundären Elevationen der Armpulse die

fortgeleiteten Details der Grundform des Aortenpulses sind, welche bei hohem Tonus weit peripherwärts gelangen, bei niedriger Gefäßspannung aber frühzeitig erlöschen, bezüglich der Dikrotie zu gewissen allgemein anerkannten Anschauungen über deren Verhalten in Widerspruch steht. Man war bisher gewöhnt, anzunehmen, daß bei starker Erschlaffung der Gefäßwand zwar die übrigen Elevationen schwinden, die Dikrotie aber dafür um so stärker hervortrete. Es hat deshalb bis in die jüngste Zeit hinein nicht an Arbeiten gefehlt, welche einen peripheren Ursprung der Dikrotie erweisen wollten (vgl. Philips (17) und Levy (18)). Sobald man aber diese Dinge nach Frank untersucht, zeigt sich, daß man es auch hier mit Trägheitsfehlern, wie sie den Hebelmanometern eigen sind, zu tun hat. Aus den von Veiel (4) in gleicher Weise wie von O. Müller und Veiel (9) publizierten Frank'schen Radialistonogrammen im warmen resp. heißen Bad ergibt sich, daß auch die Dikrotie bei erschlaffendem Gefäß geringer wird, während die übrigen Elevationen sich bis zum völligen Verschwinden verkleinern können. Daß eine so mächtige Einbuchtung, wie sie beim Klappenschluß auftritt und nebst ihrer Nachschwingung entsprechend Fig. 12 und 13 in die Peripherie hinausgeleitet wird, von allen Details der Grundform am letzten und schwersten erlöschen muß, ist ohne weiteres klar. Die Hauptsache für unsere Auffassung ist auch nicht, daß sie erlischt, was de facto nicht der Fall ist, sondern daß sie sich verkleinert, was nach den Kurven Nr. 12 a und b auf Seite 85 des zweiten Teiles der Arbeit von O. Müller und Veiel außer Zweifel steht. Der tastende Finger empfindet nun in diesem Falle die Dikrotie als einzige Elevation im ganzen abfallenden Teil der Pulskurve, und darum fällt sie ihm mehr auf, als vorher, wo sie zwar größer, aber dafür von anderen Elevationen eingeleitet und nachgefolgt war.

Zum Schluß dieses Abschnittes über die Pulse des Armes noch ein Wort zur Technik. Über den Modus der Aufnahme des Subclaviapulses ist oben schon das Nötige gesagt worden. Wir haben auch die übrigen Pulse des Armes in ähnlicher Weise mit den zum Frank'schen Apparat gehörigen sog. Herztonkapseln aufgenommen. Für die Brachialis wurde die Kapsel in der oben beschriebenen Weise auf einen Kork gesetzt und mit Heftpflaster im Sulcus bicipitalis internus meist dicht oberhalb der Ellenbeuge an das Gefäß angedrückt. Man muß sich dabei vor Stauungen hüten, wenn man weiter abwärts noch richtige Pulse aufnehmen will. Die Radialis kann man in gleicher Weise mit der zu ihrer Auf-

nahme bestimmten Manschette des Frank'schen Apparates, wie mit der durch Heftpflaster adaptierten Herztonkapsel darstellen, ohne Unterschiede der Form zu erhalten. Bei den abwärts der Radialis folgenden kleinen Gefäßen, von denen sich sowohl der nach dem Handrücken abgehende kleinere Seitenzweig dieses Gefäßes, den man in der sog. Tabatière fühlen kann, wie auch die Arterie princeps policis am Daumenballen, der oberflächliche Hohlhandbogen im distalen Teile der Handfläche und die Arterien an den Seiten- und Endphalangen der Finger bei mageren Leuten gut aufnehmen lassen, verwendet man am besten die kleinen Herztonkapseln des Frank'schen Apparates, die man entweder allein oder unter Zuhilfenahme passender flacher Korke auf die Gefäße aufdrückt und dann mit Heftpflaster adaptiert. Daß sich auf diese Weise echte Druckpulsbilder erhalten lassen, mag Bild 17 erweisen, in dem die Sphygmogramme von der Grund- und sogar noch der Endphalanx des Mittelfingers alle Details — wenn auch in abgeschwächter Form und Größe — erkennen lassen, die den größeren Arterien und dem zentralen Pulse eigen sind.

Kurve 23.

Weiß. 3

Periphere Pulse am Kopf.

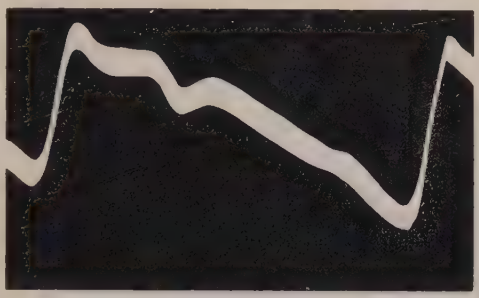
Zum Studium der Entwicklung des Kopfpulses wählen wir wiederum den Weg einfacher Beobachtung der gegebenen Tatsachen. Bild 23 bringt uns den Ablauf der gleichen Pulswelle in der Subclavia, Carotis und Temporalis der linken Seite. Subclavia- und Carotispuls zeigen das der linken Seite entsprechende Bild der tiefen Inzisur. Während aber in der Subclavia dieser Inzisur nur eine kleine spitze und dann eine sehr große bergartige Nachschwingung folgt, sehen wir in der Carotis erstens im aufsteigenden Schenkel die Andeutung einer Vorschwingung und zweitens nach der Inzisur nicht weniger als vier sehr deutliche Nachschwingungen. Man kann also hier in keinem Falle von der unveränderten Fortleitung der Grundform reden. Ihre allgemeinen Züge sind zwar in beiden großen Gefäßen nachweisbar, aber die Details sind verschieden. Das kann zweierlei Ursachen haben. Entweder ist die Fortleitung eine ungleichartige, so daß die Nachschwingungen des Aortenpulses sich in der Carotis getreu erhalten haben, in der Subclavia aber im wesentlichen zu einem hohen Gipfel vereinigt sind. Oder es sind in der Carotis neue diesem Gefäß besonders eigene Nachschwingungen aufgetreten. Frank spricht bei der Deutung des Femoralpulses von der Entstehung solcher Eigenschwingungen in großen Gefäßstämmen. Wenn die in der Aorta eingeschlossene, von elastischen Wänden umgebene Blutsäule nach dem Klappenschluß in Schwingungen gerät, wie sie ihrer Masse entsprechen (entfernt vergleichbar mit den Schwingungen eines Hauses beim raschen Schließen einer Tür), so darf es nicht wundernehmen, wenn die vom Klappenschluß herrührende Druckschwankung beim Eintritt in die Carotis resp. die Subclavia die anders gestaltete und bemessene Blutsäule dieser Gefäße in Schwingungen versetzt, die eben deren Masse entsprechen. Hier ist also wiederum beim Übertritt des Pulses aus der Aorta in die großen Gefäßstämme die Möglichkeit einer Entstellung der zentralen Pulsform durch aktive periphere Einflüsse gegeben. Theoretisch wären solche Eigenschwingungen natürlich auch weiter in der Peripherie denkbar, praktisch scheinen sie aber nicht vorzukommen, wahrscheinlich weil die Massen in den kleinkalibrigen Gefäßen zu geringe sind, um nachweisbare Effekte zu erzielen.

Den Beweis für diesen letzten Satz erbringt der in Bild 23 unten verzeichnete Temporalispuls. Wir sehen in ihm wiederum keine von der Carotiskurve prinzipiell abweichenden Schwankungen.

Wir sehen die Nachahmung des Doppelgipfels, den Zwischenschlag, die Inzisur mit nur noch zwei runden und flachen Nachschwingungen (die anderen sind durch Reibung ausgelöscht) und schließlich die dem zentralen Pulse eigne Vorschwingung. Besonders deutlich sieht man hier auch wieder das zeitliche Fortschreiten des Zwischenschlages vom Zentrum nach der Peripherie. Er liegt in der Temporalis um den gleichen Zeitabschnitt später, als in der Carotis, wie die Inzisur. Er kommt also auch hier aus dem Zentrum, aus der Aorta als zentrifugale Welle zweiter Ordnung, nicht aus dem Kapillargebiet des Kopfes als zentripetale Welle erster Ordnung.

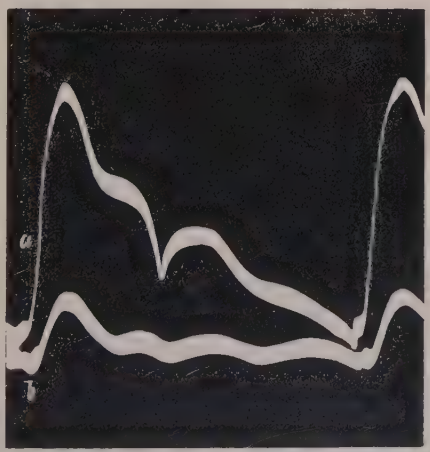
Nicht immer ist das Pulsbild der Temporalis so vielfach gewellt, denn nicht stets sind in der Carotis so viele Eigenschwingungen nach der Inzisur nachweisbar. Bild 24 stellt eine Temporalisaufnahme dar, wie man sie außerordentlich häufig erhält, und wie sie auch v. Frey bereits in ähnlicher Weise abgebildet hat. Hier ist der Doppelgipfel geradeso ausgelöscht, wie beim Radialpuls, und darum ist die Spitze scharf geworden. Der zweite Zwischenschlag, die Inzisur, die Nachschwingung und die Vorschwingung des zentralen Pulses sind noch deutlich sichtbar. Neue Details sind seit der Carotis nicht hinzugekommen.

Kurve 24.



Temporalis.

Kurve 25.

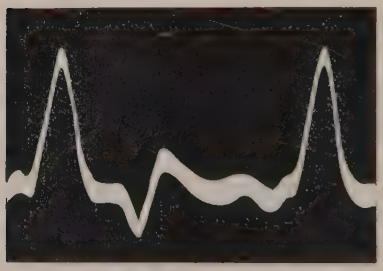


a Linke Carotis. b Maxillaris externa.

In noch höherem Maße als die Temporalis hat eine andere, der Carotis etwas näher stehende Arterie, die sich leicht sphygmogra-

phieren läßt, die zentrale Form beibehalten, nämlich die Maxillaris externa. Bild 25 gibt in a und b die gleichzeitigen Aufnahmen der linken Carotis und Maxillaris externa wieder. Das Carotisbild ist das bekannte mit starkem Zwischenschlag, tiefer Inzisur, großer Nachschwingung und deutlicher Vorschwingung. Alle diese Wellen lassen sich wiederum, wenn auch abgeschwächt und verwaschen in dem darunter stehenden Bilde der Maxillaris nachweisen; neue Details hingegen fehlen. Das tritt noch deutlicher in dem großen Einzelbild der Maxillaris Nr. 26 hervor. Da zeigt sich wiederum, wie tief die Inzisur noch in einer so weit vom Herzen abliegenden Arterie ausgesprochen sein kann.

Kurve 26.



Maxillaris externa.

Die Aufnahmen der beiden Kopfgefäße lassen sich durch Aufkleben der Herztonkapseln mit Heftpflaster ev. unter Zuhilfenahme eines Korkes gut bewerkstelligen. An der Maxillaris wird man leicht durch unwillkürliche Bewegungen des Masseter, an der Temporalis durch die Aktion des Lidschlages gestört. Deshalb ist hier besonders wichtig, daß man immer nur Kurven verwendet, in denen ganze Serien von Pulsen die gleichen Details aufweisen. Anderenfalls kann man gar zu leicht durch Zitterungen veranlaßt werden, besondere, der Peripherie eigene Schwingungen aufzufinden.

Prinzipiell liegen mithin die Dinge bei der Entwicklung der Kopfpulse nicht anders, wie bei derjenigen der Armpulse. Eine gewisse Veränderung des Aortenpulses kann in den großen Gefäßstämmen der Subclavia wie der Carotis durch Eigenschwingungen eintreten. Damit sind aber auch die aktiven Einflüsse der Peripherie auf die Originalität der Kurvenform erschöpft. Jenseits dieser großen Stromgebiete handelt es sich auch hier nur um die aus ihnen übernommenen Details, die je nach den Tonusverhältnissen früher oder später abgeschliffen und entstellt werden.

Periphere Pulse an der unteren Extremität.

Beim Studium der Entwicklung des Fußpulses sind wir genau so vorgegangen, wie am Arm und am Kopf. Dabei hatten wir es insofern leichter, als wir die Entstehung der Beinpulse aus dem unteren Abschnitt der Aorta direkt beobachten konnten, während wir für die Entstehung der Arm- und Kopfpulse aus dem obersten Abschnitt der Aorta auf Analogieschlüsse angewiesen waren, da wir den Aortenbogen selbst nicht sphygmographieren konnten. Nun sind die Pulse in der Bauchaorta zwar in ihrem prinzipiellen Aufbau nicht von denen der Aortenwurzel verschieden, aber man sieht doch aus den Frank'schen Kurven der Aortenwurzel des Hundes und aus unseren Subclaviabildern, daß die Details im Anfangsteil der Aorta viel stärker ausgesprochen sein müssen, als das in ihrem Endteil noch der Fall ist. Mit anderen Worten, wie die Grundform des Pulses bei ihrem Fortschreiten in die Stromgebiete der oberen Extremität und des Kopfes allmählich verwaschen und abgeflacht erscheint, so bahnt sich Ähnliches bereits in der Aorta selbst an. Es darf deshalb nicht wundernehmen, wenn die Pulse der unteren Extremität von vornherein viel verwaschener und ausdrucksloser erscheinen, als die der oberen.

Kurve 27.

Bild 27 entspricht diesen Erwartungen. Es zeigt oben das Bild der Bauchaorta, unten das der Femoralis bei einer jungen enteroptotischen Frau. Wir können auf diesen Femoralispuls des Menschen wiederum die Worte anwenden, mit denen Frank den aus der offenen Hundefemoralis gewonnenen Puls beschreibt. Es heißt da: „Bei der Betrachtung der von der Mitte des Ober-

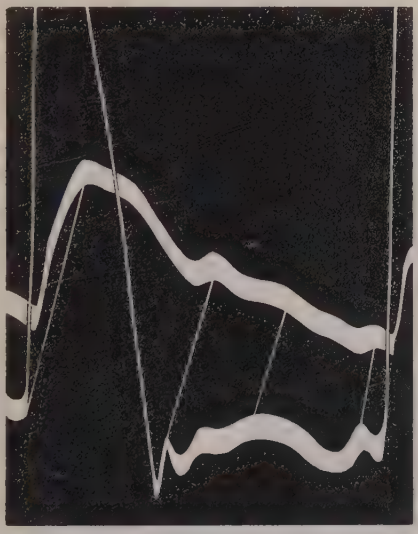
schenkels des Hundes gewonnenen Druckkurve fällt nun sofort das Fehlen aller kurzen Schwingungen auf, die in der Druckkurve der Aortenwurzel vorhanden sind. Es fehlen gänzlich die Vorschwingungen und die Schwingungen nach der Inzisur (bei uns nur als eine flache Erhebung angedeutet). Statt der Inzisur selbst, die als solche nicht mehr erkannt werden kann, tritt eine langgezogene Einbiegung auf, deren Minimum ebenso tief oder noch tiefer als das Hauptminimum zu Beginn der arteriellen Kurve reicht. Die großen Geschwindigkeitsänderungen am Anfang der Kurve sind verschwunden, ebenso ist die Vorschwingung nicht mehr vorhanden oder doch nur angedeutet.“ Und weiterhin: „Aber in dem spätesten Teile des Pulses, der sicher schon dem diastolischen Teil des Aortenpulses entspricht, ist die Entstellung gegenüber dem zentralen Puls dadurch besonders auffallend, daß statt des langsamen Abfalles, den dieser Teil hier zeigen sollte, und den er im zentralen Puls auch besitzt, eine fast horizontale, der Abscisse parallele Linie auftritt.“

Frank, der immer nur den Puls in der Aortenwurzel vor Augen hat, und dem die Abflachung, welche bereits in der Bauchaorta eintritt, noch nicht bekannt ist, läßt sich nun durch den großen Unterschied, der ja in der Tat zwischen der Grundform und deratigen Femoralispulsen besteht, zu der Annahme führen, daß diese im wesentlichen aktiven peripheren Einflüssen ihre Entstehung verdanken müßten. Er bleibt also bei den Pulsen der unteren Extremität mehr auf dem Boden der Lehren v. Frey's und v. Kries's, die er für die obere Extremität weitgehend widerlegt hat. Freilich führt er aus, daß diese aktive periphere Entstellung wohl eher durch Eigenschwingungen der zuständigen Arteriensysteme, als durch Reflexionen von der Peripherie aus erklärt werden könne. Er kommt so zu der Ansicht, daß die dikrote Elevation am Bein etwas ganz anderes sei, wie die entsprechende Erscheinung am Arm. In den oberen Körperabschnitten handle es sich gar nicht um eine wirkliche Dikrotie, als welche man eine durch periphere Einflüsse bedingte Senkung der Kurve bis annähernd zur Abszisse und ein allmähliches Wiederansteigen anzusprechen habe, sondern eben um die Fortleitung der Inzisur, und erst in den unteren Abschnitten käme eine wahre Dikrotie zum Ausdruck.

Ich möchte mich dieser prinzipiellen Unterscheidung in der Deutung der sekundären Elevationen von Pulskurven der oberen und unteren Extremitäten nur teilweis anschließen. Einmal ergibt sich schon aus der Betrachtung des Bildes Nr. 27, daß es nicht

ganz zutreffend ist, wenn Frank meint, der Femoraliskurve fehlten alle kurzen Schwingungen des Aortenpulses, denn der Zwischenschlag ist dort ebensogut wiedergegeben, wie in der Brachialiskurve Nr. 14, die ihr auch nach dem gesamten Habitus recht nahe steht. Weiter aber weist Bild 28 noch auf andere kurze Schwingungen hin, welche Aortenpuls und Femoralpuls gelegentlich gemein haben können. In diesem Bilde ist unten der horizontale, diastolische Teil einer Aortenkurve vom Typ des Bildes Nr. 3 reproduziert. Der senkrecht stehende systolische Teil dieses Pulses reicht nach oben über den Rand des Films hinaus; auf ihn kommt es aber auch hier nicht an. Oben ist die gleichzeitig verzeichnete Femoraliskurve sichtbar, und an ihr zeigt sich nun, daß erstens

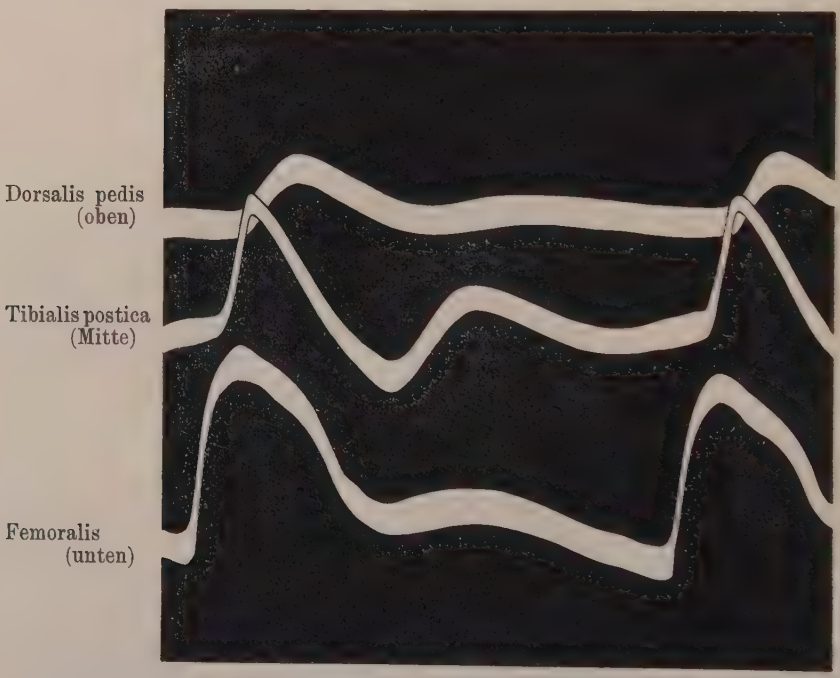
Kurve 28.



im aufsteigenden Schenkel ein deutlicher Rest der Anfangsschwingung, zweitens im absteigenden Teil die Inzisur mit den Nachschwingungen, und drittens gegen Ende die Vorschwingung weiter geleitet worden ist. Ich habe im Bilde die einzelnen Elevationen beider Kurven durch Striche miteinander verbunden, welche infolge ihrer parallelen Richtung auf zeitliche Gleichheit der Erscheinungen deuten. Man wird also kaum fehlgehen, wenn man annimmt, daß auch bei der Gestaltung der Femoraliskurve zentrale Einflüsse eine Rolle spielen, und daß die Einbuchtung nebst der sekundären Erhebung nicht ohne jeden Bezug zur Inzisur ist. Man wird sich

diese Beeinflussung vom Zentrum aus nur viel geringfügiger denken müssen, als an der oberen Extremität, wenn man die verwaschene Bauchaortenkurve, aus der sich die Femoralis durch ein weiteres Zwischenstück (die Iliaca) herleitet, mit der reichen Architektur der Subclaviakurve vergleicht, aus welcher die Armpulse stammen. Mit anderen Worten: die sekundären Elevationen an Arm und Bein sind nicht absolut wesensverschieden, nur überwiegt in der oberen Extremität der mächtige zentrale Einfluß, während, wie sich weiter unten zeigen wird, in der unteren die peripheren Einflüsse den schwachen zentralen Impuls gelegentlich, ja sogar wohl meist zu überdecken vermögen.

Kurve 29.



Frank stützt seine Meinung, daß es sich bei der Gestaltung der Beinpulse um periphere Einflüsse handeln müsse im wesentlichen auf zwei Punkte. Er macht erstens darauf aufmerksam, daß die Druckamplitude in der Femoralis größer sei, wie in der Aorta. Das könne nur erklärt werden, wenn man eine Summation der ursprünglichen zentralen Druckamplitude entweder durch reflektierte Wellen d. h. durch Interferenz oder aber durch Eigenschwingungen der Blutsäule in den peripheren Arterien annähme.

Er neigt zu der letzteren Annahme. Die Druckamplitude können wir bei unseren Untersuchungen nicht heranziehen, da wir sie am Menschen wohl in den Extremitätengefäßen, nicht aber in der Aorta zu messen vermögen. Weiter stellt Frank fest, daß am Bein die sekundäre Erhebung mit zunehmendem Abstand vom Zentrum wächst, während bei der Annahme einfacher Fortleitung dieser Erscheinung das Umgekehrte der Fall sein müßte. Das ergibt sich nun auch aus unseren Pulsbildern. Während wir in den Bildern 12 und 13 gesehen hatten, daß am Arme die Inzisur und die ihr folgende Elevation immer flacher wurden, je weiter man in die Peripherie gelangte, ergibt sich aus Bild 29 für das Bein ein andersartiges Verhalten. Das Bild zeigt unten den Puls der Femoralis mit einer nur eben angedeuteten flachen Einbuchtung und einer ebenso geringfügigen sekundären Erhebung. In der Mitte zeigt es den Puls der Tibialis postica aufgenommen an der

Kurve 30.

Stelle, wo diese Arterie im Bogen um den inneren Knöchel verläuft, um nach der Fußsohle zu gelangen. Dieser Puls hat eine ganz tiefe Einsenkung und eine ihr folgende hohe sekundäre Erhebung. Niemand wird annehmen wollen, daß dieser Kurventyp durch einfache Fortleitung des Femoralpulses entstanden sei, denn dabei könnte es doch nur zur Auslöschung einzelner Details infolge der Reibung, aber niemals zur Neuschöpfung großer Wellenberge kommen. Oben ist in dem Bilde Nr. 29 dann noch der Puls der Intermetatarsea dorsalis prima aufgezeichnet, und dieser gibt wieder ein glattes Band, wie wir es in den Hand- und Fingerarterien bei geringem Gefäßtonus finden. Ebenso glatt verlaufen schließlich entsprechend dem Bilde Nr. 30 die Pulse von der Grund- und Endphalanx der Mittelzehe. Es sind die glattesten Kurven, die wir am ganzen Körper haben feststellen können. Sie erinnern unwillkürlich an den ganz glatten Druckanstieg und Abfall, den Straub (19) jüngst im linken Ventrikel festgestellt hat, nur mit

dem Unterschied natürlich, daß es sich im Herzen um steile, in der äußersten Gefäßperipherie um flache An- und Abstiege der Kurven handelt. So würde der Puls an seiner Geburts- und an seiner Todesstätte einen quantitativ freilich stark unterschiedenen, qualitativ aber ähnlichen glatten Ablauf besitzen, was an Details in ihm vorkommt, liegt in der Mitte.

Kurve 31.

Wie soll man nun die Tatsache erklären, daß die Pulswelle am Bein erst nur eine schwache Einbiegung mit kleiner Sekundärelevation, dann eine sehr tiefe Einbiegung mit großer Dikrotie und schließlich wieder einen absolut glatten Ablauf hat? Läßt sich das mit der Annahme aus der Peripherie reflektierter Wellen verstehen? Ich glaube nicht. Erstens sehen die reflektierten Wellen, die in unseren Pulsbildern in Gestalt der Zwischenschläge nachweisbar sind, ganz anders aus. Sie sind viel kürzer und ähneln mehr einem Knoten in der Kurve, als einem langen Bogen. Zweitens wäre es doch schwer erklärbar, daß sich eine Reflexion in der äußersten Peripherie, im Kapillarsystem, an den kleinen Arterien der Zehen so gar nicht nachweisen lassen sollte, daß sie

dann gerade an der Tibialis in mächtigem Berge erschiene, um in der Femoralis wieder stark abzufallen. Schließlich müßte die Reflexionswelle eines so ausgedehnten Kapillargebietes, wie des ganzen Beines durch ihren Fortfall doch auch fraglos die Kurvenform der Femoralis verändern, wenn man durch Kompression oder Unterbindung der Oberschenkelarterie die ganze große Extremität vom übrigen Kreislauf abschnitte. Das ist aber auch nicht der Fall. Bild 31 bringt die beiden Femoraliskurven eines Mannes, dessen einer Oberschenkel in der Mitte amputiert war. Oben ist die Kurve von der Arterie des gesunden linken und unten die vom Gefäßstumpf des abgenommenen rechten Beines. Beide Bilder zeigen in fast gleicher Weise eine Andeutung des Zwischenschlages, keine Inzisur und nur die Andeutung einer sekundären Erhebung, gegen Ende aber deutlich die Vorschwingung. Die Kurve des amputierten Beines steigt etwas weniger steil an, weil der Gefäßstumpf natürlich enger ist und etwas mehr Widerstand darbietet, wie die gesunde Arterie.

Stellt man diese Überlegungen in Rechnung, so wird man mit der Frank'schen Erklärung, daß es sich bei der Entstellung der Beinkurven in der Peripherie um Eigenschwingungen der Blutsäule in den Arterien handle, weiter kommen. Frank meint, ein solches Beingefäß gleiche einem an die Aorta angeschlossenen Manometer von geringer Eigenschwingungszahl. Sobald das Blut in pulsierender Bewegung einträte, mache das elastische System langsame Eigenschwingungen, die in beiden Fällen (beim langsam schwingenden Manometer, wie bei der gleich langsam schwingenden Blutsäule in dem elastischen Gefäß) ihrerseits die Druckkurve entstellten. Man wird sagen: ganz recht, aber warum geschieht nicht gleiches auch an den Gefäßen der oberen Körperhälfte, warum wird dort der Puls ziemlich unverändert bis in die Peripherie hinein fortgeleitet? Nun einmal treten in den großen Arterienstämmen der oberen Körperhälfte, in der Subclavia und der Carotis, wie wir oben ausgeführt haben, ja doch auch Eigenschwingungen auf, welche die Kurvenform beeinflussen und die Druckamplitude höher gestalten können, als sie in der Aorta war. Zweitens aber ist ebenfalls oben schon darauf hingewiesen, daß solche Eigenschwingungen nur in größeren Gefäßen Dimensionen annehmen können, die den Kurvenverlauf merkbar stören. In der oberen Körperhälfte kommt es zu einer raschen Zerteilung der Strombahn zu Gefäßen von relativ kleinem Kaliber. In der unteren Extremität aber läuft die großkalibrige Femoralis bis zum Beginn des

Unterschenkels ungeteilt, und es ist somit Gelegenheit zur Bildung starker Schwingungen dieser mächtigen Blutsäule gegeben, die sich natürlich je weiter nach abwärts desto besser nachweisen lassen. Werden dann schließlich die Gefäße wieder eng und klein, so hören am Fuß die Eigenschwingungen selbst auf und ihr fortgeleiteter Effekt wird durch die Reibung mehr und mehr ausgetilgt, bis die Kurve keine deutliche Spur mehr davon aufweist. Bei dieser Auffassung der Dinge erklärt es sich ungezwungen, warum erstens die Femoralis in ihrem obersten Teile die relativ geringsten peripheren Entstellungen und die relativ größten zentralen Konfigurationen aufweist; warum im weiteren Verlauf großer Beingefäße eine periphere Entstellung des Pulsbildes hervortritt, die später wieder verschwindet, und warum endlich das Abklemmen einer Femoralis für deren am Ligamentum Puparti aufgenommenes Sphygmogramm so wenig ausmacht. In einem solchen Gefäßstumpf kann es eben nicht zu ausgedehnten Eigenschwingungen kommen, weil die Blutmasse zu klein und zu kurz ist, wohl aber werden in ihn die zentralen Details noch gut fortgeleitet.

Zusammenfassung.

Vergegenwärtigt man sich noch einmal den Ablauf einer Pulswelle in den verschiedenen Teilen des Körpers, so ergibt sich nach den neuesten Untersuchungen folgendes: Der Druckablauf im linken Ventrikel — wenn man so will, der Druckpuls dieses Ventrikels — hat nach Straub (19) einen völlig glatten Anstieg und Abfall, in dessen horizontalen Teil sich nur durch die Systole des Atriums und den ersten Herzton ganz kleine Zacken zeigen. Tritt der Puls in die Aortenwurzel, so erhält er nach Frank zunächst eine auf Eigenschwingungen des Aortensystems beruhende sog. Anfangsschwingung im aufsteigenden Teil. Er behält seine systolische Spitze, wie er sie auch im Ventrikel zeigt, aber dieser folgen zwei von Reflexionen an nahen Gefäßteilungsstellen herrührende Wellen, die sog. Zwischenschläge. Der erste dieser beiden Zwischenschläge überhöht oft den eigentlichen Hauptgipfel, und kann dann leicht mit dem systolischen Hauptschlag verwechselt werden. Meist nach, häufig aber auch schon mit dem ersten, immer mit dem zweiten Zwischenschlag sinkt die Pulswelle tief zur sog. Inzisur ab, die durch eine zum Schluß der Aortenklappen führende Rückströmung und damit verbundene negative Durchschwankung hervorgerufen ist. Dem Schluß der Klappe folgt eine starke Erschütterung der Blutsäule, die sich in Gestalt von einem oder mehreren Nachschwin-

gungen drucksteigernd präsentiert. Es folgt der schräge Abfall des Druckes bis zum Minimum, vor dessen Eintritt sich noch zwei kleine auf Kontraktion des Vorhofes und Ventrikels (während der Verschlußzeit) zu beziehende Drucksteigerungen zeigen.

Tritt dieser sog. zentrale Puls in die Subclavia ein, um zur oberen Extremität zu gelangen, so behält er zunächst im großen und ganzen seine Form bei. Nur kleine Entstellungen durch Eigenschwingung des großen Gefäßstammes bringen in dem Teil hinter der Inzisur eine mäßige, peripher bedingte Entstellung dieses Pulsbildes. Im weiteren Verlauf der oberen Extremität wird dann durch Reibung allmählich eines nach dem anderen von den Details des zentralen Pulses ausgelöscht, am spätesten das größte die Inzisur nebst der ihr folgenden Nachschwingung. Diese erhalten sich meist bis in die Arterien der Fingerspitzen hinein und entsprechen dem, was wir als Dikrotie zu bezeichnen gewohnt sind. Ist dabei der Tonus der Gefäße ein hoher, so nimmt in gleicher Weise die Geschwindigkeit der Pulswelle zu, d. h. die Pulsverspätung nimmt ab, und die zentrale Grundform wird weiter in die Peripherie hinein fortgeleitet. Ist der Tonus gering, so tritt das Umgekehrte ein, ja es können alle Wellen bis auf die Dikrotie ausgelöscht werden, die zwar auch kleiner wird, aber als einzige Elevation der Kurve doppelt in die Augen fällt.

Tritt der zentrale Puls durch die Carotis in die Gefäße des Kopfes, so vollzieht sich im wesentlichen das gleiche, wie in der oberen Extremität. In dem großen Gefäß werden durch eintretende Eigenschwingungen einige kleine Details namentlich in den Nachschwingungen nach der Inzisur geändert. Im übrigen bleibt die zentrale Grundform bestehen, um sich erst in den Gefäßen kleineren Kalibers wiederum allmählich zu verwischen. Ist der Tonus hoch, so geschieht das später, ist er niedrig, so geschieht es früher.

Anders stellen sich die Dinge beim Verlauf der Pulswelle nach der unteren Extremität. Schon in der Bauchaorta ist die Grundform des Aortenwurzelpulses stark verwaschen, wenn sich die Details auch noch hinreichend erkennen lassen. Der Puls tritt mithin in die Femoralis als ein anderer viel verwischterer ein, wie in die Subclavia und Carotis. Daher vermögen die Eigenschwingungen dieses mächtigen Gefäßes ihn auch viel mehr zu verändern, als diejenigen der Carotis oder Subclavia dazu bei dem sehr charaktervollen Aortenwurzelpuls imstande sind. Es kommt dazu, daß die Femoralis in größerer Länge als ungeteiltes mächtiges Gefäß verläuft, wie die Carotis und die Subclavia, und daß sich ihre

Eigenschwingungen mithin auch im weiteren Verlauf der Blutbahn stärker aussprechen können. So ist der Puls des Unterschenkels schließlich von zentralen Einflüssen nur noch außerordentlich wenig, von peripheren aber stark bestimmt, und hat deshalb eine andere Gestalt, als der des Unterarmes oder Kopfes. Diese Gestalt ist im wesentlichen durch eine die Inzisur nur noch schwach andeutende Einbuchtung nach dem Hauptgipfel, eine dieser Einbuchtung folgende mächtige Bergwelle und einen sonst glatten Verlauf bis zum Ende bestimmt. Da aber kleine Arterien keine Eigenschwingungen mehr machen können, welche in der Pulskurve wirksam zum Ausdruck kommen, so erlöschen schließlich auch diese peripher bedingten Eigenheiten, und der Puls besteht nur noch aus einem mäßig raschen Anstieg, einem etwas langsameren Abfall und einem fast horizontal verlaufenden Schluß. Wir sind in diesen periphersten Teilen wieder bei einem Bilde angelangt, das im Prinzip dem Druckablauf im linken Ventrikel gleicht, bis sich über die Stellen hinaus, wo wir mit den feinsten Sphygmographen noch Resultate erhalten können, eine gleichförmige Bewegung im Kapillarsystem einstellt.

Soviel über die theoretischen Ergebnisse. Von praktischen Konsequenzen, die sich aus ihnen ziehen lassen, seien die folgenden nochmals hervorgehoben: Die Möglichkeit, fast rein zentrale und sehr weit peripher gelegene Pulse bei gesunden und kranken Menschen event. gleichzeitig zu verzeichnen, eröffnet die Aussicht, sowohl die Herz- wie auch die Gefäßtätigkeit am intakten Körper besser zu studieren, als das bisher möglich war. Durch die zentralen Pulse lassen sich Anhaltspunkte über den Druck- und Stromablauf in der Aorta während eines Herzschlages, sowie über eintretende Veränderungen dieser Größen gewinnen. So wird vor allem bei fortlaufender Untersuchung ein relatives Maß für Änderungen des Schlagvolumens gewonnen. Weiter läßt sich die Verschlußzeit des Herzens bestimmen. Endlich erscheint es nicht ausgeschlossen, daß sich an der Hand des zentralen Pulses wichtige Beobachtungen bei Herzkranken durchführen lassen.

Durch die Pulsuntersuchung in der Peripherie ist eine weitere Methode zum Studium der Tonusänderungen des Gefäßsystems an den verschiedensten Stellen des Körpers gegeben. Die gleichzeitige Bestimmung eintretender Änderungen der Pulsverspätung (nach Moens, Grumnach und Lommel) und der Kurvenform (Veiel) bietet dabei eine doppelte Gewähr für die Richtigkeit der zu ziehenden Schlüsse. Die Methode greift direkt an der Arterie selbst an

und ist demgemäß nicht von Änderungen des Venenstromes abhängig, wie die Plethysmographie. Auch lassen sich mit der Frank'schen Sphygmographie schon einfache Tonusänderungen der Gefäßwand nachweisen, die noch nicht zu Gefäßkaliberschwankungen geführt haben. Es besteht demnach die Aussicht, eine neue, sichere und fein reagierende Methode zur Funktionsprüfung der Gefäße zu erhalten.

Unsere Untersuchungen erweisen somit in ihren theoretischen wie praktischen Konsequenzen die Richtigkeit der Hoffnung Otto Frank's: „daß die Erscheinungen im großen und ganzen einfacher sind, als man auch den bisherigen Veröffentlichungen annehmen konnte, daß sie durch einfache Annahmen erklärt werden können, so daß man dem höchsten Ziel der Pulsforschung, über den Zustand des Herzens und der Gefäße etwas zu erfahren, wirklich näher kommen kann."

Literaturverzeichnis.

1. Otto Frank, Zeitschr. für Biologie Bd. 45 p. 445. — Ebendas. Bd. 46 p. 441.
2. v. Frey, Die Untersuchung des Pulses. Berlin 1892.
3. Otto Frank, Zeitschr. für Biologie Bd. 50 p. 303.
4. E. Veiel, Deutsches Archiv für klin. Medizin 1912.
5. Marey, La circulation du sang. Paris 1863. — Ebendas. Paris 1881.
6. Grashey, Virchow's Archiv Bd. 62 1875 p. 530. — Die Wellenbewegung elastischer Röhren. Leipzig 1881.
7. Hürthle, Pflüger's Archiv Bd. 43 1888 p. 399. — Ebendas. Bd. 47 1890 p. 1.
8. Bornstein, Zeitschr. für experimentelle Pathologie u. Therapie Bd. 9.
9. O. Müller u. Veiel, Volkmann'sche Sammlung klin. Vorträge Nr. 606/608 und 630/632.
10. F. Krauß, Deutsche mediz. Wochenschr. 1905 Nr. 1.
11. Tigerstedt, Wiener med. Wochenschr. 1910 Nr. 39.
12. A. v. Haller, Cit. nach Landois, Lehrbuch d. Physiologie p. 149.
13. Moens, Cit. nach v. Frey, Die Untersuchung des Pulses Berlin 1892.
14. Grumnach, Archiv für Anatomie u. Physiologie 1879 p. 417.
15. Lommel, Deutsches Archiv für klin. Medizin 1903 Bd. 78.
16. Nägele, Zentralbl. für Herz- u. Gefäßkrankheiten 1911 Nr. 8.
17. Philips, Arch. internat. de physiol. I, p. 78.
18. Lewy, Zeitschr. für klin. Med. Bd. 70 Heft 5 u. 6.
19. Straub, Pflüger's Archiv 1911.

G. Pätz'sche Buchdr. Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.

G. Pätz'sche Buchdruckerei Lippert & Co. G. m. b. H., Naumburg a. d. S.